

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

**Zvyšování výkonu turbogenerátoru JE
Temelín**

**Turbogenerator power increases in NPP
Temelín**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Karel Vidlák**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: **Zvyšování výkonu turbogenerátoru JE Temelín**
Turbogenerator Power Increases in NPP Temelín

Zásady pro vypracování:

- o Technologie výroby elektrické energie v jaderných elektrárnách (JE).
- o Synchronní generátory.
- o Možnosti zvyšování výkonu turbogenerátoru.
- o Popis úprav v JE Temelín.
- o Nové provozní parametry stroje.
- o Limity při provozu se zvýšeným výkonem.
- o Možné další rezervy turbogenerátoru.
- o Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- o Doležal a kol.: Jaderné a klasické elektrárny, ČVUT Praha 2011, ISBN 978-80-01-04936-5
- o Brauner J., Šindler Z.: Elektrická část elektráren, VŠB Ostrava 1987
- o Dočekal A., Bouček S.: Elektrárny II, ČVUT Praha 1995
- o Firemní podklady
- o Další podle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení Studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě 28.4.2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Karel Vidlák', written over a horizontal dotted line.

Bc. Karel Vidlák

Poděkování:

Touto formou děkuji svému vedoucímu práce panu doc. Ing. Radomíru Goňovi, Ph.D. za možnost pracovat na této diplomové práci a jeho podporu v průběhu řešení zadaného úkolu, panu Ing. Tomáši Rotbauerovi, Ing. Eduardu Pudilovi a Ing. Zdenku Durdákovi za cenné rady, připomínky a čas, který mi věnovali při vypracování diplomové práce.

Abstrakt

Neustálý nárůst spotřeby elektrické energie a důraz na ochranu životního prostředí vedou ke zvýšení efektivnosti provozu jaderných elektráren za dodržení všech bezpečnostních požadavků. V této práci popisují využití projektových rezerv na zvýšení výkonu generátoru Jaderné elektrárny Temelín.

Klíčová slova: Jaderná elektrárna Temelín, primární okruh, sekundární okruh, generátor, zvýšení výkonu generátoru

Abstract

The ever increasing usage of electric power and the emphasis on environmental protection lead to increase in efficiency of nuclear power plants while complying with all safety requirements. In this article I am going to describe the use of the design reserves in the increase of the generator output of the Temelín Nuclear Power Plant.

Keywords: Temelin Nuclear Power Plant, primary circuit, secondary circuit, generator, increase of the generator power

Seznam použitých symbolů a zkratk

ASRU	automatická sekundární regulace napětí (U/Q)
BD	bloková dozorna
BT	blokový transformátor
BÚK	bloková úprava kondenzátu
CCHV	cirkulační chladicí voda
ČK	čistý kondenzát
ČS	čerpací stanice
ETE	elektrárna Temelín
ES	elektrizační soustava
F455	ochrana při prokluzu generátoru
GV	generátorový vypínač
HK	hlavní kondenzátor
HMP	hlídač meze podbuzení
CHV	chladicí věž
JE	jaderná elektrárna
KČ	kondenzátní čerpadlo
KKP	kondenzátor komínkové páry
Lx	označení fáze x
NN	napájecí nádrž
NT	nízkotlaký
NTO	nízkotlaký ohřívák
OČ	oběhové čerpadlo
PČK	podávací čerpadlo kondenzátu
PG	parogenerátor
PS	přenosová soustava
SPP	separátor - přehříváč

ŠO		špičkový ohřívák
TBN		turbonapájecí soustrojí
TÚV		teplá užitková voda
U/f		omezovač magnetického přesycení
VT		vysokotlaký
VTO		vysokotlaký ohřívák
VTR		vysokotlaká regenerace
VS		výměníková stanice
VS		vlastní spotřeba
VT		vysokotlaký
ZO		základní ohřívák
ZV		zapouzdřené vodiče
abs.		absolutní
nSR		budící generátor (budič)
D_p	(MW)	činné ztráty BT
D_Q	(MVar)	jalové ztráty BT
D_s	(MVA)	celkové ztráty BT
I_{bn}	(A)	jmenovitý budící proud
P	(W)	činný výkon
Q	(VAr)	jalový (zdánlivý) výkon
S	(VA)	celkový výkon
U	(V)	napětí
U_g	(V)	napětí generátoru
U_r	(V)	napětí rozvodny
U_{sout}	(V)	napětí soustavy
Z_{bt}	(Ω)	impedance blokového transformátoru
$\cos\varphi$	(-)	účinník

Obsah

1 Primární okruh.....	3
1.1 Reaktor VVER 1000 typ V 320.....	5
1.2 Hlavní cirkulační potrubí.....	9
1.3 Parogenerátor.....	10
1.4 Hlavní cirkulační čerpadlo.....	11
1.5 Systém kompenzace objemu.....	12
2 Sekundární okruh.....	15
2.1 Rozvod páry.....	15
2.2 Turbosoustrojí.....	17
2.3 Pomocné systémy parní turbíny	20
2.4 Systém kondenzace.....	20
2.5 Nízkotlaká regenerace.....	21
2.6 Tepelná úprava vody.....	21
2.7 Napájení parogenerátoru.....	21
2.8 Vysokotlaká regenerace.....	22
2.9 Systém udržování bloku v horké rezervě.....	22
3 Elektrické schéma JE Temelín.....	23
3.1 Vyvedení výkonu jaderné elektrárny Temelín.....	23
3.2 Napájení vlastní spotřeby.....	25
4 Generátor 1000 MW.....	27
4.1 Konstrukce generátoru 1000 MW.....	27
4.2 Budicí soustava generátoru 1000 MW.....	29
4.3 Pomocná hospodářství generátoru 1000 MW.....	33
4.4 Provoz generátoru 1000 MW.....	34
5 Transformátory a další zařízení ve vyvedení výkonu a ve vlastní spotřebě	40
5.1 Blokový transformátor.....	40
5.2 Odbočkový transformátor	41
5.3 Generátorový vypínač	43
5.4 Zapouzdřené vodiče	44
5.5 Uzemňovač	45
6 Využití projektových rezerv a modernizace turbíny.....	46
6.1 Primární okruh.....	46
6.2 Sekundární okruh.....	46
7 Úprava generátoru pro využití zvýšeného výkonu bloku, důsledky a změny pro navazující zařízení.....	47
7.1 Přetypování generátoru na 1125 MW, 1250 MVA.....	47
7.2 Úprava spojovacích pásů, vibrace vinutí generátoru.....	48
7.3 Konstrukční vzpěry generátoru.....	49
7.4 Stahovací deska jádra statoru.....	51
7.5 P-Q diagramy.....	52
7.6 Statická stabilita.....	54
7.7 Dynamická stabilita.....	56

7.8 Ochrana proti prokluzu.....	57
7.9 Zkratové proudy.....	58
7.10 Budicí soustava.....	60
7.11 Porovnání parametrů generátoru.....	62
7.12 Nulová spojka.....	62
7.13 Fázové vývody.....	63
7.14 Připojení transformátorů vlastní spotřeby.....	63
7.15 Zapouzdřené vodiče 24 kV.....	63
7.16 Generátorový vypínač.....	64
7.17 Přístrojové transformátory proudu.....	65
7.18 Blokový transformátor.....	65
7.19 Vyvedení výkonu ETE – Kočín.....	66
8 Provoz se zvýšeným výkonem.....	68
8.1 Oteplení stahovací desky.....	68
8.2 Vibrace čela statorového vinutí generátoru.....	71
8.3 Blokový transformátor.....	72
8.4 Zapouzdřené vodiče.....	74
8.5 Nulová spojka.....	75
9 Možné další rezervy generátoru.....	77
9.1 Přenosová cesta 400 kV.....	77
9.2 Generátor.....	77
9.3 Blokový transformátor.....	79
9.4 Zařízení vyvedení výkonu.....	81
10 Závěr.....	82

Úvod

Jaderná elektrárna Temelín se nachází nedaleko Českých Budějovic, v těsné blízkosti obce Týn nad Vltavou. Součástí výstavby elektrárny bylo vybudování vodního díla Hněvkovice na řece Vltavě. Z této přehrady je elektrárna zásobena technologickou vodou.

Investiční záměr pro stavbu třetí Československé jaderné elektrárny byl vydán v únoru 1979. Vlastní výstavba pak byla zahájena v roce 1987. Po listopadu 1989 vlivem nových ekonomických podmínek došlo k přehodnocení celkového výkonu. V březnu 1993 vláda České republiky rozhodla o dostavbě jaderné elektrárny Temelín v rozsahu dvou bloků místo plánovaných čtyřech. Výrobní bloky byly osazeny tlakovodními reaktory VVER 1000 typu V 320. s tepelným výkonem 3000 MW.

Od roku 1990 došlo v projektu elektrárny k řadě úprav s cílem zvýšit bezpečnost a spolehlivost provozu. Po provedení auditu firmou Halliburton NUS v roce 1991 byly realizovány doporučení k získání povolení provozu ve smyslu západních standardů. Jednalo se především o doporučení:

- Nahradit původní systém řízení moderním digitálním systémem.
- Provést záměnu původního sovětského jaderného paliva a aktivní zóny.
- Nahradit původní kabely nehořlavými apod.

V červenci roku 2000 bylo zavezeno první jaderné palivo do reaktoru prvního výrobního bloku. Dne 21. prosince 2000 vyrobil tento blok první elektrickou energii. Druhý výrobní blok začal dodávat elektrickou energii do rozvodné sítě 29. prosince 2002. Původní celkový instalovaný elektrický výkon byl 2000 MW.

Uvedením jaderné elektrárny Temelín do provozu se zvýšil podíl výroby jaderných zdrojů v akciové společnosti ČEZ na 42,5 %.

Cílem průběžné modernizace jaderné elektrárny Temelín je zvyšovat její bezpečnost, spolehlivost a efektivitu. Využití projektových rezerv byl jedním z takových projektů, který se začal připravovat již v roce 2009. V rámci přípravy bylo zpracováno více než 230 analýz, studií a výsledků testů, které byly předány Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost a ministerstvu průmyslu. Díky projektovým rezervám v aktivní zóně mohla elektrárna zvýšit tepelný výkon bloku z 3000 MW na 3120 MW. To znamenalo možnost navýšit výrobu elektrické energie o 40 MWh. Po modernizaci turbogenerátoru v roce 2013 se tak dosáhlo využití zvýšeného tepelného výkonu, tedy zvýšení výkonu o čtyři procenta u obou bloků na 2x 1055 MW. Do tohoto projektu investovala akciová společnost ČEZ přibližně 450 milionů korun.

Po modernizaci turbíny v roce 2014 se zvýšil výkon prvního bloku o další dvě procenta. Tato turbína se skládá z jednoho vysokotlakého dílu a tří nízkotlakých o celkové délce šedesáti metrů a váze 2000 tun. Celkově se navýšil elektrický výkon prvního výrobního bloku přibližně na 1078 MW. Modernizace turbíny druhého výrobního bloku bude provedena v roce 2015.

Ročně Jaderná elektrárna Temelín vynakládá na posílení bezpečnosti a zlepšení provozní a spolehlivosti přibližně miliardu korun. Modernizace elektrárny bude pokračovat i v následujících letech, protože průběžnou modernizací se zajistí možnost bezpečně, efektivně a spolehlivě využít stávající technologii minimálně dalších 60 let. [01]

1 Primární okruh

Hlavní systémy primární části jaderné elektrárny Temelín jsou umístěny v budově reaktoru, která je součástí hlavního výrobního bloku. Pomocné systémy primárního okruhu jsou umístěny v obestavbě kontejnmentu a v budově aktivních pomocných provozů.

V primárním okruhu v aktivní zóně reaktoru se mění jaderná energie prostřednictvím řízené štěpné reakce na tepelnou, která se pomocí parogenerátorů přenáší do sekundárního okruhu, kde se dále mění v parní turbíně na energii mechanickou a v generátoru na energii elektrickou.

Radioaktivní primární okruh je uzavřená vodní smyčka, kterou parogenerátor odděluje od neradioaktivního sekundárního okruhu. Můžeme říct, že primární okruh je uzavřená tlaková nádoba zaplněná chladivem, jejíž objem se mění v závislosti na teplotních změnách v okruhu. Objemové změny chladiva jsou přímoúměrné tlakovým změnám. Aby nedošlo ke tvorbě páry v aktivní zóně a tím i k přehřevu palivových článků, reguluje se tlak v primárním okruhu pomocí systému kompenzace objemu.

Chladivo primárního okruhu je tvořeno obyčejnou chemicky upravenou vodou s koncentrací kyseliny borité ($0 \div 16$) g/kg. Energie vzniklá řízenou štěpnou reakcí izotopu uranu ^{235}U se v reaktoru mění v energii tepelnou. Takto ohřáté chladivo proudí horkou větví cirkulační smyčky z reaktoru do teplosměnných trubek parogenerátoru, kde předává tepelnou energii napájecí vodě, která se ohřívá a mění na sytou páru. Z teplosměnných trubek parogenerátoru proudí ochlazené chladivo přes hlavní cirkulační čerpadlo zpět do reaktoru, kde se opět ohřeje a celý proces přenosu energie se znovu opakuje.

V primárním okruhu jaderného reaktoru jsou čtyři cirkulační smyčky.

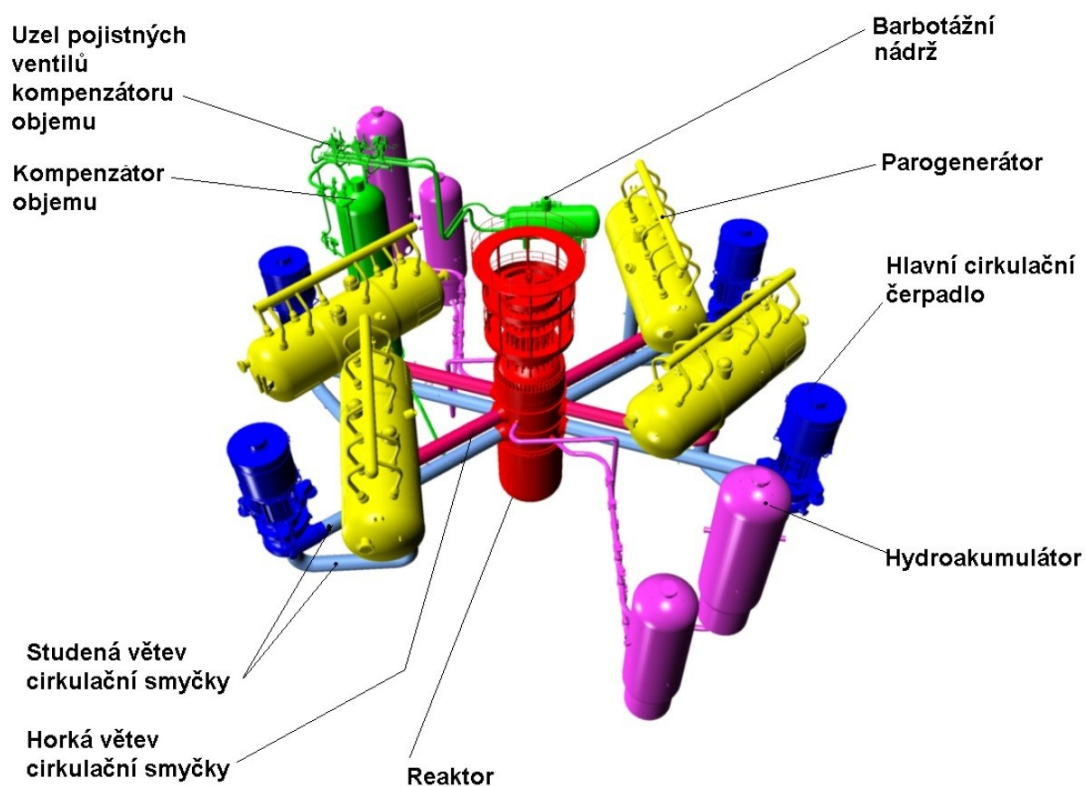
Hlavní části primárního okruhu jsou:

- Jaderný tlakovodní reaktor VVER 1000 V 320
- Hlavní cirkulační potrubí
- Parogenerátor
- Hlavní cirkulační čerpadlo
- Systém kompenzace objemu

Zjednodušené schéma primárního okruhu a jeho dispoziční uspořádání je na obrázku 1.

Celý primární okruh je uložen v části hlavního výrobního bloku – kontejnmentu.

Kontejnment je ochranná hermeticky těsná obálka, která má za úkol chránit okolí v případě poruchy nebo havárie na primárním okruhu. Zároveň chrání vnitřní zařízení před vnějšími vlivy. Je navržen tak, aby vydržel přetlak par při úniku chladiva z primárního okruhu při maximální projektové havárii – roztržení hlavního cirkulačního potrubí. [02]



Obr. 1 Primární okruh JE VVER 1000 [02]

1.1 Reaktor VVER 1000 typ V 320

Tlakovodní heterogenní energetický reaktor VVER 1000 typu V 320, obrázek 2, je umístěn v primární části jaderné elektrárny. Je to technologické zařízení, ve kterém dochází k přeměně jaderné energie na energii tepelnou prostřednictvím řízené štěpné reakce. Tato štěpná reakce probíhá v aktivní zóně, která je uložena v jaderném reaktoru. Uvolněné teplo přestupuje do chladiva primárního okruhu, které proudí aktivní zónou reaktoru. [02]

Aktivní zóna se skládá z:

- 163 palivových souborů obsahujících palivové články
- 61 svazkových řídících tyčí typu klastr
- $(2 \div 4)$ Sekundárních neutronových zdrojů

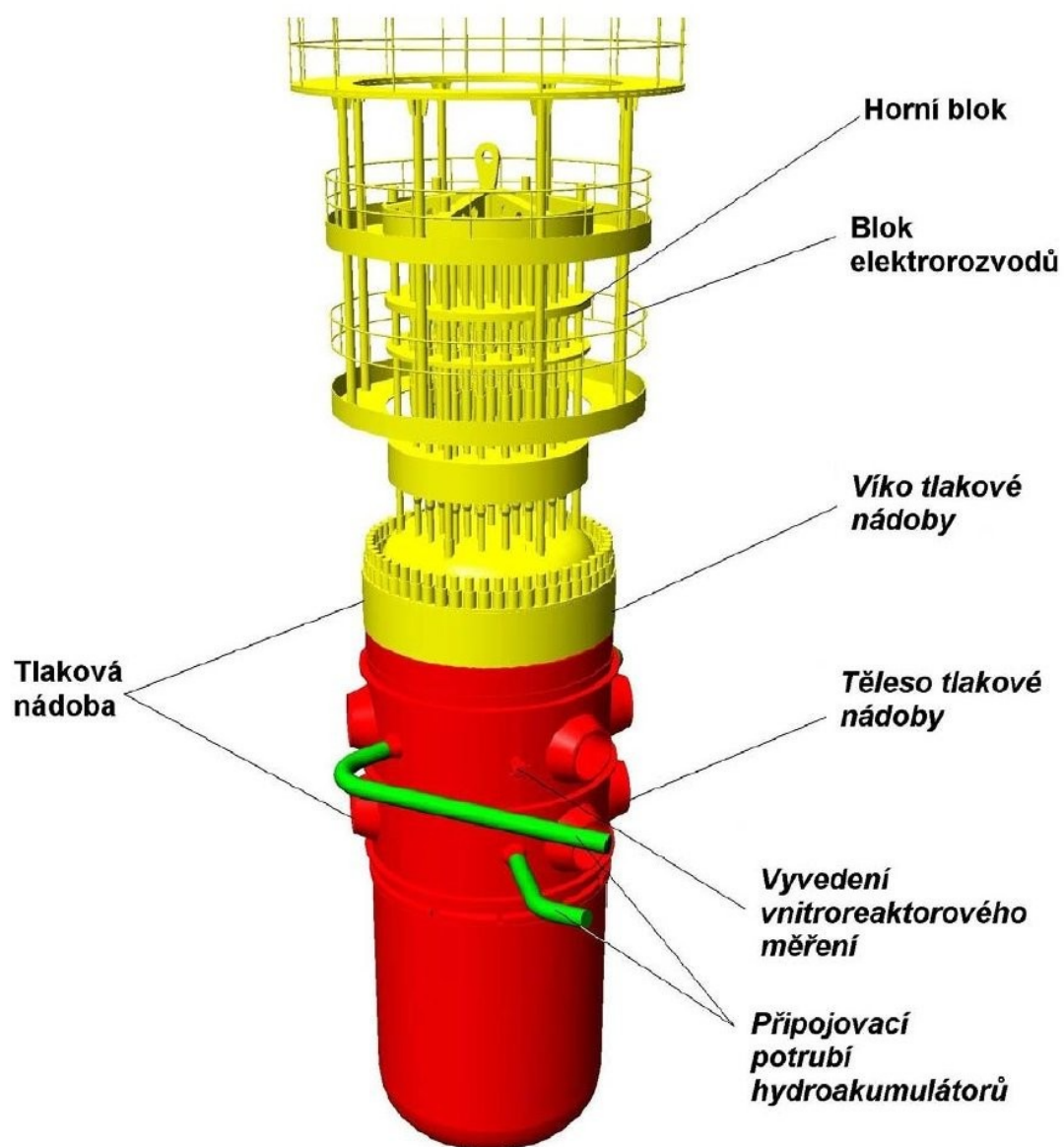
Teplo vznikající štěpením jader ^{235}U je předáno chladicí vodě, která pomocí čtyř cirkulačních čerpadel ochlazuje aktivní zónu a zároveň odvádí teplo z aktivní zóny do parogenerátoru. Chladivo primárního okruhu plní zároveň funkci moderátoru.

Štěpná reakce v reaktoru je řízena dvěma způsoby:

1. Dlouhodobé kompenzace změn reaktivity v průběhu kampaně se provádí změnou koncentrace kyseliny borité v primární vodě.
2. Skupinami klastrů jsou regulovány rychlé změny neutronového toku, nebo rychlé přerušení štěpné řetězové reakce.

Reaktor se skládá z následujících hlavních částí, příloha A:

- Tlaková nádoba
- Horní blok
- Vnitřní vestavby
- Blok elektrorozvodů
- Lineární krokový pohon
- Hlavní zařízení betonové šachty reaktoru [02]



Obr. 2 Reaktor VVER 1000 [02]

Tlaková nádoba reaktoru

Tlaková nádoba reaktoru je svařena z kovaných prstenců (přírubového, horního a dolního hrdlového, opěrného, dlouhého, krátkého) a eliptického dna vyrobené lisováním. Musí zabezpečit bezpečný provoz reaktoru při vysokých parametrech chladiva. Tvoří třetí a nejdůležitější bariéru proti úniku radioaktivních látek, proto musí být zajištěna její celistvost během všech provozních režimů. Musí zabezpečit podmínky pro přeměnu jaderné energie na energii tepelnou a její odvod z aktivní zóny při všech provozních režimech reaktoru.

První bariéru proti úniku radioaktivních látek tvoří samotná matrice palivových tablet. Krystalická struktura oxidu uraničitého má schopnost udržet při normálním provozu až 99 % vznikajících radioaktivních látek. Hermetický obal, v němž jsou uloženy palivové tablety, tvoří druhou bariéru, která má za úkol zachytit zbylé 1 % radioaktivních plynných produktů. Čtvrtou bariéru tvoří kontejnment.

V tlakové nádobě reaktoru jsou umístěny vnitřní části reaktoru včetně aktivní zóny. Tlaková nádoba reaktoru se skládá z tělesa a víka tlakové nádoby, které je součástí horního bloku. [02]

Horní blok

Horní blok je určen k uzavření a utěsnění reaktoru, zachycení vztlakových sil vnitřních částí reaktoru a zabezpečení tepelného a biologického stínění reaktoru.

V ocelové konstrukci horního bloku jsou uloženy lineární krokové pohony, které slouží k manipulaci s klastry, a rozmístěny vývody tras vnitroreaktorové kontroly s těsněním.

Horní blok za provozu bloku tvoří s víkem tlakové nádoby reaktoru jeden celek. [02]

Vnitřní vestavby reaktoru

Šachta reaktoru

Šachta reaktoru je nosnou konstrukcí pro uložení a zajištění polohy palivových souborů, pláště aktivní zóny a bloku ochranných trubek. Odděluje vstup a výstup chladiva proudícího reaktorem, usměrňuje a uklidňuje chladivo před vstupem do aktivní zóny. Zrovnoměňuje proud chladiva tak, aby se jeho rychlost po průřezu vyrovnala. Zároveň slouží jako stínění tlakové nádoby před neutronovým tokem a gama zářením vycházející z aktivní zóny. [02]

Plášť aktivní zóny

Do pláště aktivní zóny se umísťuje 163 palivových souborů, které tvoří aktivní zónu. Protože

průřez palivových souborů je šestihran, není ani plášť aktivní zóny kruhový, ale vyplňuje vzniklou mezeru mezi palivovými soubory a šachtou reaktoru. Také plášť aktivní zóny plní funkci ochrany stíněním tlakové nádoby před účinky radioaktivního záření. Zároveň slouží jako reflektor pro tvarování neutronového toku. [02]

Blok ochranných trub

Blok ochranných trub zajišťuje polohu palivových souborů v aktivní zóně a předepsané rozteče tím, že dosedá na hlavice palivových souborů. Chrání vedení klastrů před působením chladiva, zajišťuje přesné zavedení čidel měření neutronového toku do palivových souborů, vyvedení vnitroreaktorového měření pomocí kanálů. Zrovnoměňuje tok chladiva před výstupem z reaktoru a umožňuje tepelné dilatace vzhledem k šachtě reaktoru a víku tlakové nádoby reaktoru. [02]

Blok elektrorozvodů

Blok elektrorozvodů slouží pro obsluhu horního bloku při revizích a opravách, dále pro rozmístění elektrokomunikačních kabelů, kabelů vnitroreaktorové kontroly, kabelů čidel úniků netěsností z přírub horního bloku a kabelů provozní diagnostiky.

Při provozu slouží jako biologické stínění a upevnění horního bloku pro případ zemětřesení. [02]

Lineární krokový pohon

Lineární krokové pohony jsou výkonným prvkem systému řízení a ochrany reaktoru. Jejich provozní spolehlivost se zásadním způsobem podílí na bezporuchovém provozu reaktoru a tím i na jaderné bezpečnosti bloku. Je to výkonný akční člen systému a řízení ochrany reaktoru.

Tvoří součást horního bloku reaktoru. Zajišťují pohyb klastrů v aktivní zóně ve svislém směru s cílem udržovat výkon reaktoru na požadované úrovni. Umožňují přemísťování klastrů, stání v krajních a mezilehlých polohách, indikaci polohy, pád klastru v režimu havarijní ochrany, blokádu vysunutí klastru z aktivní zóny při poruše hermetičnosti a diagnostiku elektrických i mechanických částí. [02]

Hlavní zařízení betonové šachty reaktoru

Zařízení betonové šachty reaktoru, v které je umístěn reaktor, zabezpečuje biologickou ochranu proti radioaktivnímu záření z aktivní zóny, řeší upevnění reaktoru odolávající provozním a

seismickým vlivům. Dále řeší tepelné stínění reaktoru.

Pomocí zařízení betonové šachty reaktoru se provádí utahování hlavní dělicí roviny reaktoru, kontroly a revize reaktoru, měření neutronového toku pomocí ionizačních komor a jejich ovládání, centrování horního bloku a vnitřních částí reaktoru. [02]

Jmenovité základní parametry pro nominální výkon

Tepelný výkon	3000 MW
Tlak na výstupu z reaktoru (absolutní)	$(15,7 \pm 0,2)$ MPa
Teplota chladiva na výstupu z reaktoru (horká větev cirkulační smyčky)	$(321,0 + 5,5)$ °C
Teplota chladiva na vstupu do reaktoru (studená větev cirkulační smyčky)	$(289,7 + 2,5)$ °C
Teplota chladiva na výstupu z nejvíce zatíženého palivového souboru	$(332,0 + 4)$ °C
Ohřev chladiva v reaktoru	$(30,3 + 0,7)$ °C
Relativní neutronový výkon N/N_{NOM}	$(100,0 + 2,0)$
Doba práce na jmenovitém výkonu	7000 h
Průtok chladiva reaktorem	(84800^{+4000}_{-4800}) m ³ /h
Průtok vzduchu na chlazení jednoho lineárního krokového pohonu [02]	400 m ³ /h

1.2 Hlavní cirkulační potrubí

Cirkulační smyčka spojuje reaktor s parogenerátorem. Je rozdělena do dvou větví, viz obrázek 1:

- Horká větev
- Studená větev

Horkou větví proudí chladivo z reaktoru do parogenerátoru. Studenou větví proudí chladivo z parogenerátoru do reaktoru. Ve studené části cirkulační smyčky je umístěno hlavní cirkulační čerpadlo, které zajišťuje nucený oběh chladiva. Hlavní cirkulační potrubí je umístěno tak, aby při vypnutých hlavních cirkulačních čerpadlech probíhala přirozená cirkulace chladiva.

Hlavní cirkulační potrubí má světlost DN 850 s dvouvrstvým nerezovým návarem o tloušťce

(5 ÷ 7) mm a patří mezi systémy související s jadernou bezpečností. Tlak ve smyčce je 15,7 MPa, průtok chladiva jednou smyčkou je $(21200_{-1200}^{+1000}) \text{ m}^3/\text{h}$.[02]

1.3 Parogenerátor

Parogenerátor je jednotělesový horizontální rekuperační tepelný výměník zajišťující přenos tepelné energie akumulované v chladivu primárního okruhu napájecí vodě sekundárního okruhu. Chladivo z reaktoru proudí teplosměnnými trubkami, které jsou z vnější strany zatopeny sekundární napájecí vodou. Tepelná energie z chladiva přestupuje stěnou teplosměnných trubek do napájecí vody. Ta se ohřívá a mění na sytou páru. Sytá pára proudí z parogenerátoru hlavním parním kolektorem do parní turbíny. Ochlazené chladivo proudí z parogenerátoru prostřednictvím hlavního cirkulačního čerpadla studenou větví cirkulační smyčky zpět do reaktoru.

Odděluje radioaktivní primární okruh od neradioaktivního sekundárního okruhu, proto jsou na jeho provedení a obzvláště na těsnost kladeny nejprísnější požadavky, a patří mezi systémy související s jadernou bezpečností.

Tvoří ho celosvařovaná jednoplášťová tlaková nádoba s horizontálně uspořádanými ponořenými teplosměnnými trubkami, se zabudovaným paroseparačním zařízením, systému rozvodu napájecí a havarijní vody, s ponořeným děrovaným plechem, potrubím odběru a odluhu, parním kolektorem, viz příloha B. Uložení v primárním okruhu musí zabezpečit volnou teplotní dilataci cirkulační smyčky. Z tohoto důvodu je uložen na válečkové podpěře.

Parogenerátor se dělí na dvě základní části, primární a sekundární.

Primární část

Primární část je tvořena dvěma primárními kolektory s víky, teplosměnnou plochou tvořenou 11000 trubkami s distančními prvky o průměru 16x1,5 mm z nerezové oceli ohnutými do tvaru U uspořádaných do dvou trubkových svazků, potrubím odvzdušnění primárních kolektorů a potrubím kontroly těsnosti vík primárních kolektorů.

Sekundární část

Sekundární část je tvořena pláštěm vyrobeným z nízkolegované oceli, který je proveden jako celosvařovaná válcová nádoba o vnitřním průměru 4000 mm a délce 13840 mm s čely uzavřenými eliptickými dny. [02]

Základní technické parametry parogenerátoru PGV – 1000M

Tepelný výkon	(750 + 53) MW
Množství chladiva primárního okruhu	$(21200^{+1000}_{-1200}) \text{ m}^3/\text{h}$
Množství vyrobené páry	(1470 + 103) t/h
Pracovní tlak na primární straně	$(15,59 \pm 0,30) \text{ MPa}$
Pracovní tlak na sekundární straně	$(6,18 \pm 0,20) \text{ MPa}$
Teplota napájecí vody	$(220 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$
Teplota chladiva primárního okruhu na vstupu	$(320,0 \pm 3,5) \text{ }^\circ\text{C}$
Teplota chladiva primárního okruhu na výstupu	$(289,7 \pm 2,0) \text{ }^\circ\text{C}$
Teplota vyrobené páry	278,5 °C
Vlhkost páry	Max. 0,2 %
Počet teplosměnných trubek	11000
Teplosměnná plocha [02]	6112 m ²

1.4 Hlavní cirkulační čerpadlo

Hlavní cirkulační čerpadlo, příloha C, je umístěno ve studené větvi cirkulační smyčky. Zabezpečuje nucenou cirkulaci chladiva primárního okruhu mezi aktivní zónou reaktoru a teplosměnnou plochou parogenerátoru. Tím je zajištěn odvod tepla z reaktoru do parogenerátoru. Z důvodu teplotní dilatace cirkulační smyčky je hlavní cirkulační čerpadlo uloženo na kulové podpěře.

Protože ochlazení chladiva v parogenerátoru je malé, asi kolem 30 °C a jeho ohřátí v reaktoru přibližně stejné, je nutná jeho nucená cirkulace. Průtok chladiva primárního okruhu musí několikanásobně převýšit množství páry produkované v parogenerátoru.

Hlavní cirkulační čerpadlo GCN-195M je vertikální, odstředivé, jednostupňové čerpadlo s mechanickou ucpávkou hřídele, s letmo upevněným oběžným kolem, axiálním přívodem čerpané kapaliny, asynchronním motorem a pomocnými systémy zabezpečující normální provoz. [02]

Základní technické parametry hlavního cirkulačního čerpadla a elektromotoru

Nominální průtok při jmenovitých parametrech primárního okruhu	21200 m ³ /h
Tlak na sání	15,3 MPa
Výtlačná výška	93 m
Příkon při provozu s horkou vodou	Max. 5100 kW
Příkon při provozu se studenou vodou	Max. 6800 kW
Maximální výkon elektromotoru	8000 kW
Jmenovité napětí	6 kV
Jmenovitý proud statoru při studené vodě	773 A
Jmenovitý proud statoru při horké vodě	605 A
Maximální rozběhový proud	8 x I _{nom}
Kmitočet napájecí sítě	50 Hz
Synchronní otáčky při 50 Hz	995 ot/min
Jmenovitý skluz [02]	0,6 %

1.5 Systém kompenzace objemu

Jak jsem se již zmínil v kapitole 1, primární okruh je vlastně tlaková nádoba zaplněná vodou o vysokém tlaku. Mění-li se provozní stavy v primárním okruhu, mění se teplota a tím i objem. Důsledkem toho je, že se mění tlak chladiva. Tlak nesmí poklesnout na hodnotu, při které by se začalo odpařovat chladivo primárního okruhu. To by mohlo mít za následek zhoršení chlazení palivových kazet a následné natavení palivových článků. A naopak, aby byla zachována celistvost primárního okruhu, nesmí tlak chladiva překročit předepsané hodnoty. Z tohoto důvodu se musí změny objemu a tím i změny tlaku chladiva primárního okruhu kompenzovat. K tomu slouží systém kompenzace objemu, obrázek 3, který vyrovnává objemové změny chladiva. Tento systém tvoří kompenzátor objemu a barbotážní nádrž. Proti překročení tlaku jsou za kompenzátořem objemu instalovány pojistné ventily, které při zvýšení tlaku přepouští páru z kompenzátoru objemu do barbotážní nádrže. [02]

Kompenzátor objemu YP10B01

Kompenzátor objemu je svislá válcová tlaková nádoba tvořená tělesem svařeným ze tří hladkých, jednoho ohřívákového kovaného prstence a dvou eliptických den z nízkolegované oceli s dvouvrstvým nerezovým návarem o tloušťce 9 mm umístěným na válcovém podstavci,

viz příloha D.

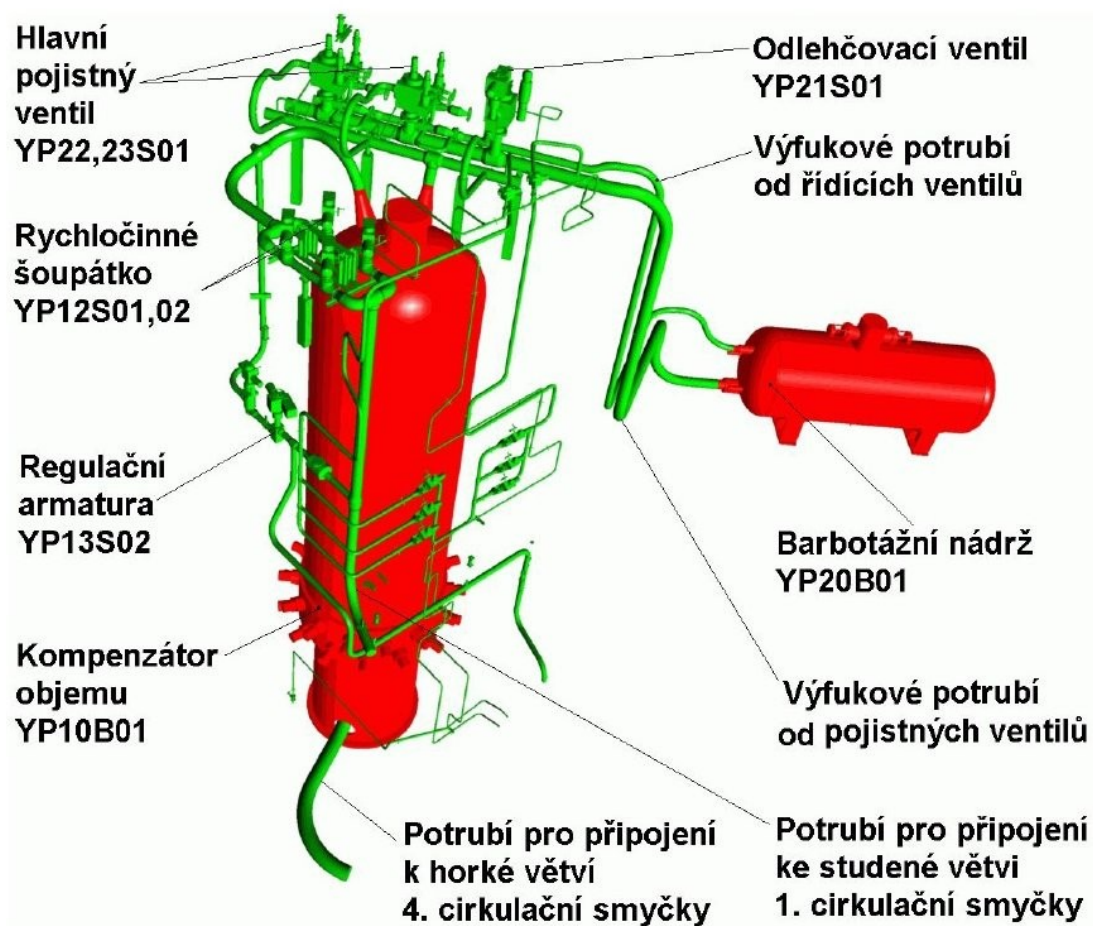
Během nominálního provozu je kompenzátor objemu částečně zaplněn chladivem a částečně parou. Parametry uvnitř kompenzátoru objemu odpovídají stavu nasycených par chladiva. Při pomalém poklesu tlaku dojde k porušení rovnováhy na mezi sytosti a nastane intenzivnější odpařování chladiva, protože teplota v kompenzátoru objemu je nad teplotou nasycených par při daném stavu. Odpařením chladiva se zvětší objem páry a tím i tlak, čímž se parametry opět vyrovnají. Když se tlak v kompenzátoru objemu mírně zvýší dojde znovu k porušení rovnováhy na mezi sytosti a dochází ke kondenzaci páry, protože teplota v kompenzátoru objemu je nižší než teplota sytosti při tomto zvýšeném tlaku. Při kondenzaci páry dochází ke zmenšení jejího objemu a tak i ke snížení tlaku. Parametry se tak opět vyrovnají. Pomocí této samoregulace je možno regulovat malé změny tlaku. Při větších tlakových změnách dochází k zapracování elektroohříváčů a sprchového systému.

V primárním okruhu je připojen na horkou větev čtvrté cirkulační smyčky pomocí potrubí s několika záhyby, které plní funkci dilatačního kompenzátoru. [02]

Barbotážní nádrž YP20B01

Barbotážní nádrž, příloha E, je nerezová vodorovná nádoba svařená ze tří válcových prstenců o tloušťce stěny 16 mm a dvou eliptických den. Uvnitř barbotážní nádrže je uchycen chladicí systém vloženého okruhu chlazení a děrované trubky pro přívod páry.

Pára z výfuků všech přetlakových ventilů kompenzátoru objemu je zavedena do barbotážní nádrže, která je zaplněna čistým kondenzátem a provětrávaná nízkotlakým dusíkem o tlaku 0,15 MPa. Zde dochází k její kondenzaci. [02]



Obr. 3 Systém kompenzace objemu [02]

2 Sekundární okruh

Hlavní systémy sekundární části jaderné elektrárny Temelín jsou umístěny v budově strojovny a rozvodny, které jsou neaktivní části hlavního výrobního bloku. Mezi nejdůležitější úkoly sekundárního okruhu patří zajištění vysoké účinnosti přeměny tepelné energie, získané řízenou štěpnou reakcí a předané do sekundárního okruhu parogenerátorem, na energii mechanickou a dále na energii elektrickou pomocí generátoru, udržování bloku v horké rezervě při jeho krátkodobých odstávkách (max. 489 hodin), dochlazování bloku při jeho odstavování. Tepelné schéma sekundárního okruhu je na obrázku 4. [03]

K technologickým systémům sekundárního okruhu patří:

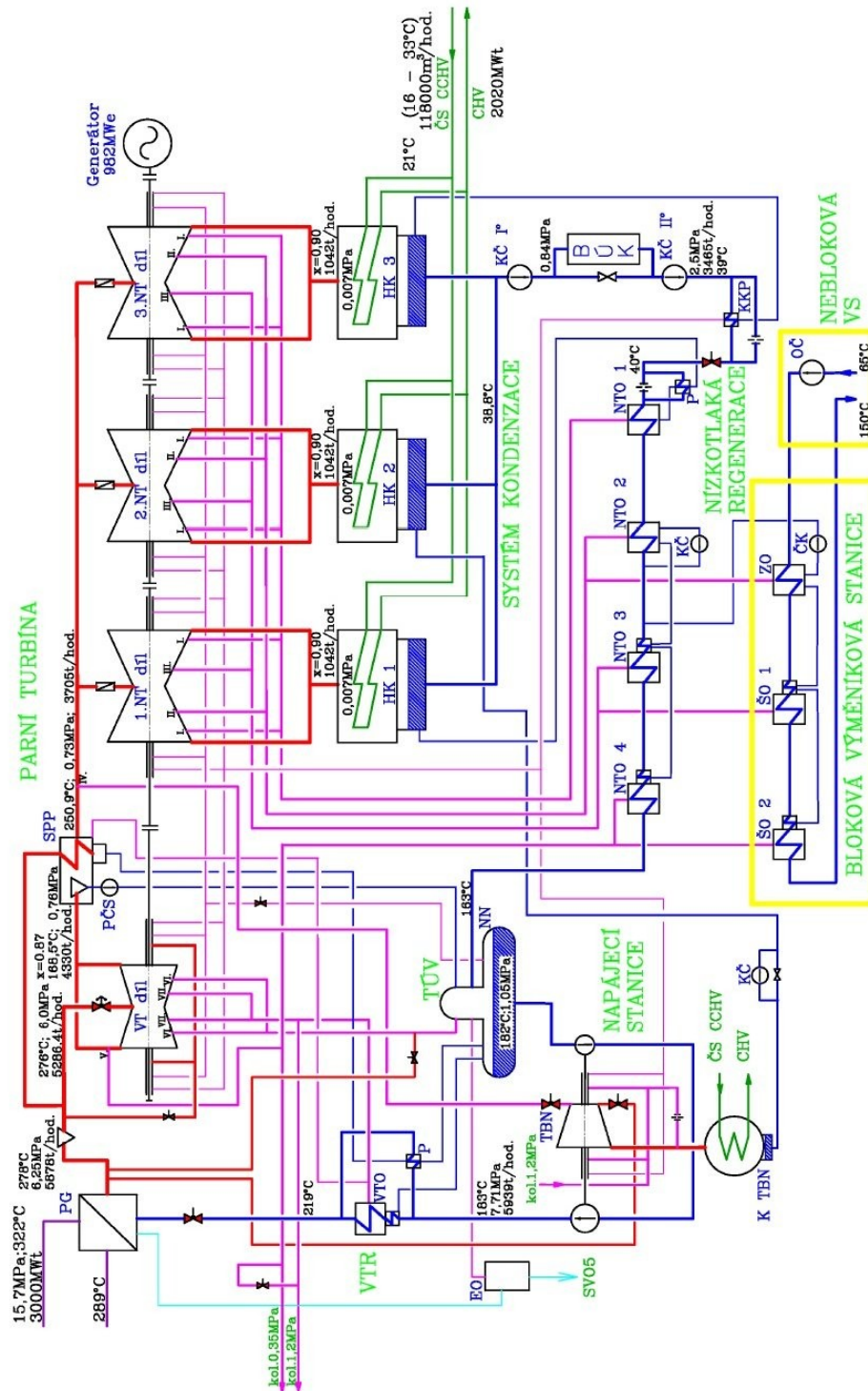
- Rozvod páry
- Turbosoustrojí
- Pomocné systémy parní turbíny
- Systém kondenzace
- NT regenerace
- Tepelná úprava vody
- Napájení parogenerátorů
- VT regenerace
- Systém udržování bloků v horké rezervě

2.1 Rozvod páry

Rozvod páry je tvořen soustavou parovodů a parních kolektorů, které zajišťují dopravu páry od parogenerátoru k turbíně, rozvod páry pro vlastní potřebu blokových a neblokových spotřebičů jaderné elektrárny ve všech režimech. [03]

Rozvod páry dělíme na:

- Rozvoz ostré páry
- Rozvod páry vlastní spotřeby
- Systém odvodnění rozvodů páry



Obr. 4 Základní tepelné schéma sekundárního okruhu [03]

Rozvod ostré páry

Rozvod ostré páry tvoří soustava vysokotlakých potrubních tras určená k dopravě páry z parogenerátoru do parní turbíny, vyrovnání množství a tlaků mezi jednotlivými parovody, zajištění záskokové páry pro potřebu systému odplynění kondenzátu, k pohonu turbonapájecích soustrojí, dopravě páry z parovodů parogenerátoru k přepouštěcím stanicím, předáváním tepla z parogenerátoru do kondenzátoru při udržování bloku v horké rezervě a dodávce cizí páry do turbíny. [03]

Rozvod páry vlastní spotřeby

Rozvod páry vlastní spotřeby je systém umožňující horké zkoušky zařízení bloku, jejich přípravu pro najíždění a vlastní najíždění bloku. V těchto režimech se blok chová jako spotřebič tepla. Po spuštění bloku a jeho vyvedení na výkon přebírá úlohu zdroje tepla. [03]

Systém odvodnění rozvodů páry

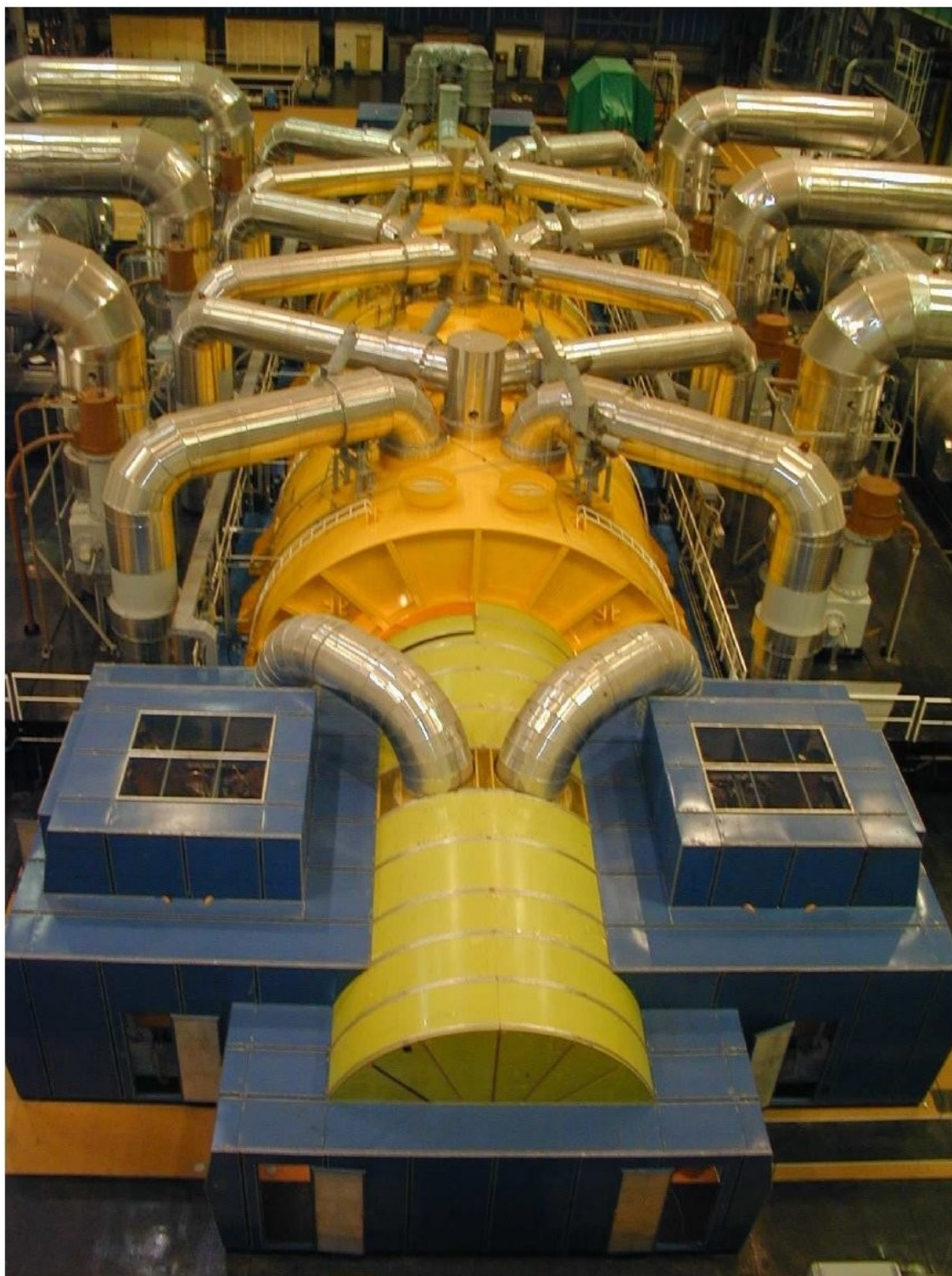
Systém odvodnění rozvodů páry zabezpečuje odvod kondenzátu z potrubních tras vysokotlakých parovodů, jejich speciálních zařízení a části kolektorů. Tím se podílí na ochraně potrubních tras proti korozivnímu a erozivnímu působení kapalné fáze vody. [03]

2.2 Turbosoustrojí

Turbosoustrojí, obrázek 5, slouží k přeměně tepelné energie na elektrickou. Je tvořeno soustavou točivých energetických zařízení určených k přeměně tepelné energie na mechanickou a v konečné fázi na energii elektrickou. [03]

Turbosoustrojí je sestaveno z následujících částí:

- Parní turbína
- Generátor
- Sběrací zařízení
- Budič



Obr. 5 Zakrytované turbosoustrojí jaderné elektrárny Temelín [03]

Parní turbína ŠKODA K 1000 – 5,8

Parní turbína je točivý stroj sloužící k přeměně tepelné energie na energii mechanickou. V jaderné elektrárně Temelín je použita čtyřtělesová kondenzační parní turbína na sytou páru, která pohání generátor.

Parní turbína je ústředním prvkem sekundárního okruhu, která je úzce svázána svým provozem s ostatními systémy sekundárního okruhu, ve kterých ovlivňuje důležité provozní parametry. Totéž platí i obráceně, jednotlivé systémy sekundárního okruhu ovlivňují provoz parní turbíny a tím celého turbosoustrojí.

Parní turbína se skládá z následujících částí:

- Vysokotlaká část parní turbíny
- Nízkotlaká část parní turbíny
- Ložiska
- Pěti ložiskových stojanů
- Otáčecího zařízení
- Armaturní parní turbíny
- Protihlukového krytu vysokotlakého dílu parní turbíny
- Protihlukového krytu generátoru

Při nájíždění turbosoustrojí je nejprve nutné vytvořit v systému kondenzace nájížděcí vakuum, nahřát komory bloků rychlozávěrných ventilů a regulačních ventilů. Poté aktivovat hydraulický zabezpečovací systém, následně provést základní nahřívání parní turbíny při otáčkách daných otáčecím zařízením. Po dosažení 20 % nominálních otáček se konečné prohřátí provede na prohřívacích otáčkách 1400 ot/min. Po prohřátí parní turbíny se otáčky zvýší na nominální otáčky 3000 ot/min a provedou se předepsané zkoušky. Po úspěšném ukončení zkoušek následuje přifázování soustrojí k síti.

Za nominálních podmínek proudí čtyřmi parovody k vysokotlakému dílu parní turbíny 5262,9 t ostré páry za hodinu o teplotě 273,6 °C, tlaku 5,8 MPa a entalpii 2777,7 kJ/kg. Průchodem páry pracovním prostorem VT dílu se část tepelné a tlakové energie přemění na mechanickou energii a část pracovní páry odchází ke spotřebičům.

Hlavní část páry, cca 2145 t/h z každé větve o vlhkosti 13,5 %, tlaku 0,758 MPa a teplotě 168,2 °C proudí do horizontálního separátoru – přehříváče, kde se zbaví vlhkosti a přehřeje na teplotu 252,2 °C. Při výstupním tlaku 0,753 MPa to znamená přeměnu na páru přehřátou.

Protože se v každém separátoru odloučí cca 310 tun páry za hodinu, vstupuje do každého nízkotlakého dílu přibližně 1222,3 t pracovní páry.

Každý z nízkotlakého dílu parní turbíny přispívá kolem 20 % podílu na přeměně tepelné energie na mechanickou energii.

Zbytek páry v množství 1033,25 t/h o tlaku 7,16 kPa, teplotou 39,5 °C a entalpií 2332,1 kJ/kg vstupuje do kondenzátoru, kde dochází k její kondenzaci. [03]

2.3 Pomocné systémy parní turbíny

Jednotlivé pomocné systémy parní turbíny zabezpečují bezpečný a spolehlivý provoz parní turbíny:

- Mazání třecích ploch turbíny, generátoru a budiče
- Utěsnění pracovního prostoru vůči atmosféře
- Regulaci výkonu turbíny a ochranu před poškozením
- Dopravu páry z turbíny k jednotlivým spotřebičům
- Odvodnění páry
- Úpravu pracovní páry mezi VT a NT díly turbíny [03]

2.4 Systém kondenzace

Systém kondenzace zajišťuje odvod nízkopotenciální tepelné energie ze sekundárního okruhu a tím přeměnu páry vystupující z NT dílů parní turbíny na kondenzát při velmi nízkém tlaku a k dopravě tohoto kondenzátu do dalších systémů sekundárního okruhu.

Ke každému nízkotlakovému dílu parní turbíny je připojen jeden kondenzátor.

Kondenzátor je dvouproudý, čtyřhlavý, rekuperativní parovodní tepelný výměník s trubkovou teplosměnnou plochou, křížovým prouděním tekutin a s teplosměnnou plochou 23200 m².

Teplosměnnou plochu tvoří soustava 31900 kusů titanových teplosměnných trubek o průměru 20,0 x 0,7 mm, rozdělených do čtyř shodných dílů. [04]

2.5 Nízkotlaká regenerace

Nízkotlaká regenerace ohřívá hlavní kondenzát před jeho vstupem do teplé úpravy vody, pomocí páry přiváděné z odběrů parní turbíny, na teplotu $(120 \div 163)^\circ\text{C}$. Takto ohřátý kondenzát zlepšuje účinnost oběhu.

Nízkotlaká regenerace je řešena jako třívětvová. Každá větev je tvořena čtyřmi horizontálními nízkotlakými ohříváči, v nichž je protékající kondenzát ohříván odběrovou parou. [04]

2.6 Tepelná úprava vody

Tepelná úprava vody zabezpečuje termické odplynění kondenzátů přitékajících z vybraných zařízení, jeho dohřátí na mez sytosti při tlaku $(0,7 \div 1,2)$ MPa, vytvoření zásoby napájecí vody pro napájení parogenerátoru a vytvoření tlaku na sání napájecích čerpadel.

Tepelnou úpravu vody tvoří systém odplynění kondenzátu, který snižuje obsah plynů v kondenzátu, systému sběru technologických kondenzátů a vloženého okruhu chlazení strojovny, který slouží k odvodu tepla z vybraných čerpadel a dalších zařízení umístěných ve strojovně, mezistrojovně a blokové výměňkové stanici. [04]

2.7 Napájení parogenerátoru

Napájení parogenerátoru zajišťuje dopravu napájecí vody do parogenerátorů a tím se mimo jiné podílí na regulaci její hladiny při najíždění bloku, nominálním provozu, odstavováním bloku, udržování bloku v horké rezervě a parovodním režimu dochlazování primárního okruhu.

Tento ucelený komplex systémů a subsystémů umožňuje napájet parogenerátory ve všech režimech provozu bloku, včetně havarijních. Napájení parogenerátoru dělíme na [04]:

- Napájecí stanice
- Hlavní napájecí kolektory a napájecí hlavy
- Systém havarijního napájení parogenerátoru

Napájecí stanice

Napájecí stanice mají za úkol dopravovat napájecí vodu z napájecí nádrže do parogenerátoru při najíždění, provozu, odstavování bloku a při jeho udržování v horké rezervě. Skládá se ze třech turbonapájecích soustrojí, pomocných napájecích čerpadel a pomocných systémů turbonapájecího soustrojí. Systém havarijního napájení parogenerátoru je za provozu bloku určen k zajištění napájení parogenerátoru demivodou v havarijních režimech, kdy není dostatečně zajištěno napájení normálním způsobem. Tento systém se skládá ze tří nezávislých systémů, které uvádí do činnosti automatická ochrana parogenerátoru. [04]

2.8 Vysokotlaká regenerace

Jednostupňová vysokotlaká regenerace ohřívá napájecí vodu před vstupem do parogenerátorů ve dvou tepelných výměnících na teplotu $(117 \div 218) ^\circ\text{C}$ pomocí odběrové páry z parní turbíny a zbytkové tepelné energie kondenzátu z topné páry přiváděné ze systému separátorů - přehříváčů pro zvýšení tepelné účinnosti bloku a snížení tepelného namáhání teplosměnných ploch parogenerátoru. [04]

2.9 Systém udržování bloku v horké rezervě

Systém udržování bloku v horké rezervě zajišťuje odvod tepelné energie z primárního okruhu v případě přerušení výroby elektrické energie na dobu delší jak 8 hodin, ale kratší jak 48 hodin. Za těchto podmínek je výrobní blok udržován tímto systémem na nominálních parametrech při minimálním výkonu reaktoru. Reaktor je v tomto režimu podkritický a jeho tepelný výkon se pohybuje v rozsahu $N_{\text{nom}} = (1 \div 2) \%$. [04]

3 Elektrické schéma JE Temelín

Elektrické schéma jaderné elektrárny Temelín je grafickým znázorněním všech elektrotechnických zařízení, přístrojů, automatik, ochran a ovládacích obvodů, které jsou uspořádány tak, aby výroba elektrické energie byla co nejhospodárnější při zachování maximální možné jaderné a provozní bezpečnosti.

Jaderná elektrárna Temelín má dva hlavní výrobní bloky. V každé strojovně hlavního výrobního bloku je umístěno jedno turbosoustrojí, tzv. monoblok o jmenovitém výkonu 1000 MW. Vyrobený elektrický výkon každého bloku je přenášen samostatným vedením 400 kV do rozvodny Kočín.

Z důvodu snížení možnosti přenosu elektrických poruch mezi jednotlivými bloky, je elektrické schéma řešeno blokově. Důsledným blokovým uspořádáním je splněna důležitá podmínka vzájemného oddělení bloků a tím i jejich spolehlivý provoz.

Jediný systém, který tvoří výjimku v blokovém uspořádání je společná rezervní dielelektrická stanice zajišťující nouzové napájení systémů nedůležitých z hlediska jaderné bezpečnosti, ale zajišťující bezpečnost osob a drahých zařízení pro oba výrobní bloky. [05]

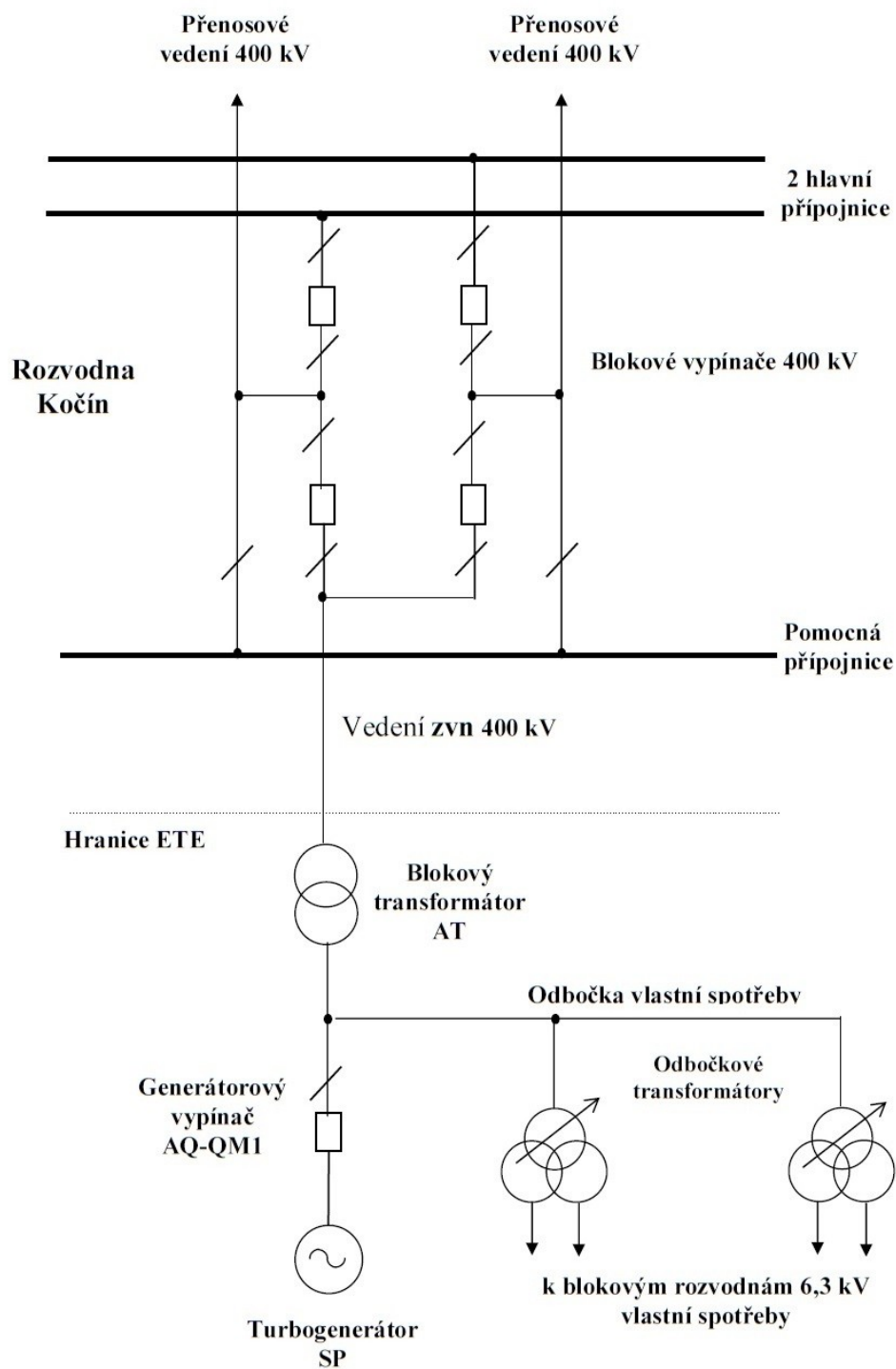
Elektrické schéma jaderné elektrárny Temelín se dělí na:

- Vyvedení vyrobeného elektrického výkonu do ES
- Napájení vlastní spotřeby

3.1 Vyvedení výkonu jaderné elektrárny Temelín

Vyrobená elektrická energie je z generátoru vedena zapouzdřenými vodiči do generátorového vypínače, který musí být schopen vypínat provozní i zkratové proudy a dále do blokového transformátoru, který transformuje svorkové napětí generátoru 24 kV na zvlášť vysoké napětí 400 kV. Toto napětí je vedeno venkovními lanovým vedením 400 kV do rozvodny Kočín, kde je umístěn blokový vypínač umožňující odpojení celého výrobního bloku od elektrizační soustavy. Součástí rozvodny Kočín je také rozvodna 110 kV, která je hlavním rezervním zdrojem napájení pro výrobní bloky elektrárny Temelín. [05]

Elektrické schéma vyvedení výkonu výrobního bloku jaderné elektrárny Temelín je znázorněno na obrázku 6.



Obr. 6 Vyvedení výkonu výrobního bloku jaderné elektrárny Temelín [05]

3.2 Napájení vlastní spotřeby

Vlastní spotřebou se rozumí spotřebovaná elektrická energie, která je nutná pro zajištění výroby elektrické energie včetně spotřeby všech pomocných provozů. V projektovém řešení elektrárny byla velikost vlastní spotřeby určena ve výši cca 8 % na každý blok. To tedy znamená vlastní spotřebu ve výši 2x80 MW.

Zkušenosti z provozu ukazují, že potřebná elektrická energie pro vlastní spotřebu se pohybuje pouze do 5 % vyráběného výkonu. Současná vlastní spotřeba bloku je 2x22,5 MVA, tj. 45 MVA.

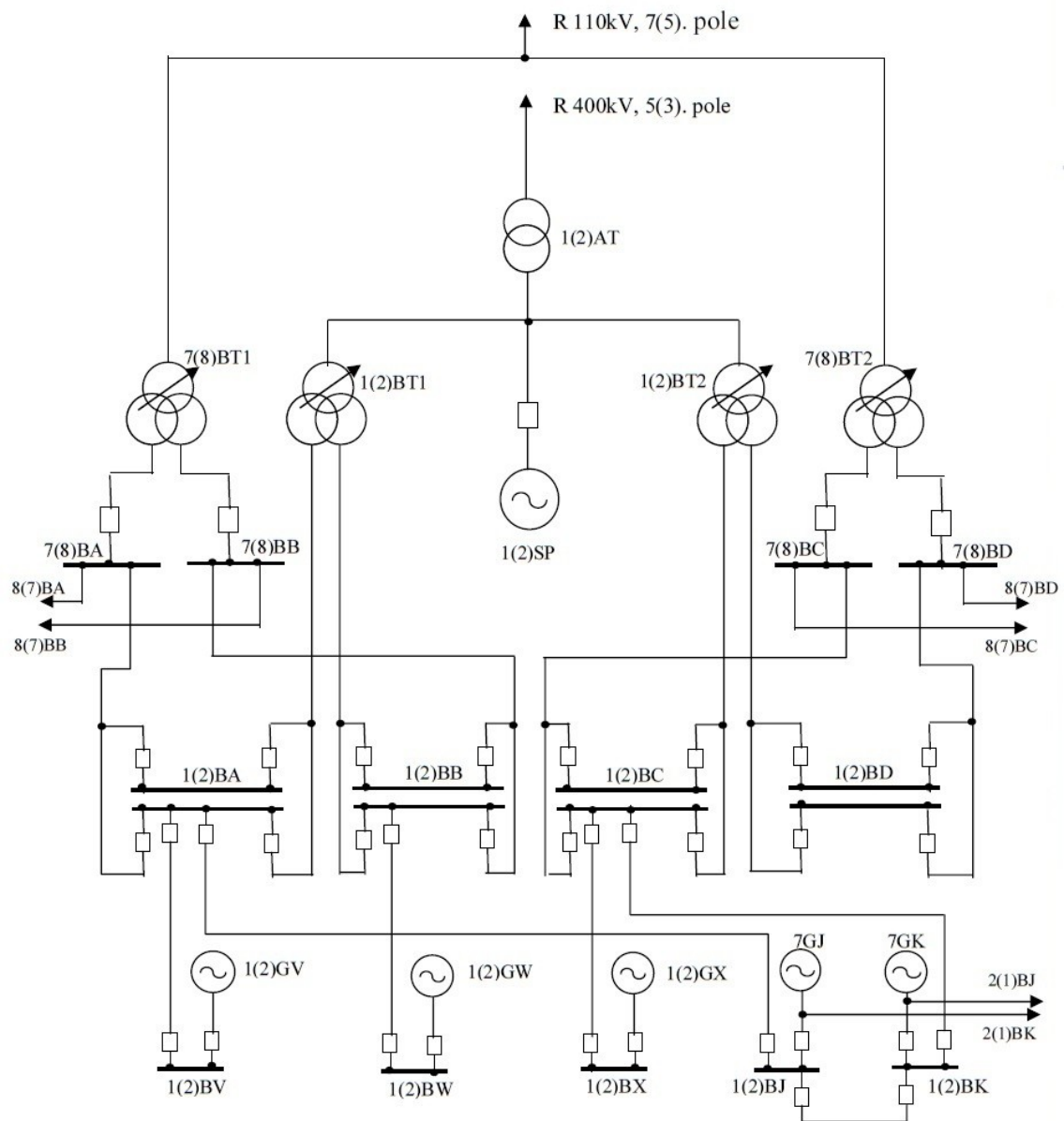
Většina elektrických zařízení v jaderné elektrárně má vyšší nároky na spolehlivost napájení než jim odpovídající zařízení v klasických elektrárnách. Na zajištění spolehlivého provozu systému napájení vlastní spotřeby elektrickou energií závisí bezporuchový chod celé elektrárny.

Schéma napájení vlastní spotřeby bloku je zobrazené na obrázku 7.

Spotřebiče ve vlastní spotřebě jsou klasifikovány a rozděleny podle důležitosti jejich funkce z hlediska účasti na nouzovém dochlazování bloku, podle jejich vlivu na technologický proces a podle jejich nároků na spolehlivost elektrického napájení. Takto rozdělené spotřebiče jsou zařazeny do kategorií (I. ÷ III.), kterým jsou přiřazeny systémy elektrického napájení.

Spotřebiče v I. kategorii přímo ovlivňují jadernou bezpečnost bloku, nebo mají zvýšené požadavky na spolehlivost napájení. Spotřebiče podílející se na zajištění jaderné bezpečnosti bloku jsou zařazeny do kategorie II. V kategorii III. jsou zařazeny spotřebiče, které nemají přímý vliv na jadernou bezpečnost, neplní bezpečnostní funkce a nepodílí se na havarijním dochlazování bloku.

Napájení vlastní spotřeby elektrickou energií je řešeno pro každý výrobní blok samostatně. Základem pro toto napájení jsou čtyři blokové rozvodny 6 kV, které jsou součástí systému nezajištěného napájení. Ve vyvedení výkonu z generátoru je provedena v zapouzdřených vodičích odbočka ke dvěma odbočkovým transformátorům, které slouží jako pracovní zdroj pro napájení vlastní spotřeby. Odbočkové transformátory napájí vždy dvě sekce blokové rozvodny zapouzdřenými vodiči 6 kV. Základním provozním režimem odbočkových transformátorů je provoz pod trvalým zatížením. [05]



Obr. 7 Schéma napájení vlastní spotřeby [05]

4 Generátor 1000 MW

Generátor je točivý elektrický stroj, který mění mechanickou energii přenášenou na hřídeli parní turbíny na elektrickou energii.

Je uložen v samostatném rámu zakotveném do odpružené základové desky společně s parní turbínou ve strojovně hlavního výrobního bloku. S parní turbínou je spojen pevnou spojkou s rotorem nízkotlaké části. [05]

4.1 Konstrukce generátoru 1000 MW

Generátor je uzavřený dvoupólový třífázový synchronní generátor s kombinovaným chlazením. Vinutí statoru, průchodky a nulová spojka jsou chlazeny demivodou, ostatní aktivní části stroje vodíkem a sběrací zařízení vzduchem. Pracuje na principu elektromagnetické indukce. Na rotoru je vytvořen dvoupólový magnet, kterým parní turbína otáčí uvnitř statorového třífázového vinutí. Vlivem elektromagnetické indukce se ve statorovém vinutí indukuje střídavé elektrické napětí. [05]

Rotor generátoru

Rotor generátoru je proveden jako jednodílný výkovek z chrom-nikl-molybden-vanadiové oceli, ve kterém jsou vyfrézovány drážky. V drážkách je uloženo vinutí rotoru z měděných vodičů lichoběžníkového průřezu s eliptickou dutinou. Jednotlivé závity cívek jsou tvořeny z rovných tyčí spojených v čelech spojkou z dutého vodiče obdélníkového tvaru. Drážky rotoru jsou po nalisování cívek vinutí uzavřeny bronzovými klíny a rotor je mechanicky vyvážen.

Vinutí rotoru je v provozu napájeno stejnosměrným budícím proudem tak, aby v rotoru vzniklo dvoupólové elektromagnetické pole. Přívod budícího proudu do vinutí rotoru prochází od sběracího ústrojí axiálním vývrtem v rotoru.

Dutými vodiči rotorového vinutí proudí vodík, který chladí jak vodiče, tak i materiál rotoru. Pohyb vodíku ve stroji zajišťují radiální kompresory umístěné na obou koncích rotoru.

Ocelové obruče rotoru (stahovací kruhy) chrání čela vinutí na obou stranách rotoru před účinky odstředivých sil.

V drážkách pro vinutí rotoru a v mělkých drážkách v pólech rotoru jsou uloženy vodiče tlumiče (amortizéry), které jsou vodivě spojeny s drážkovými klíny a s obručemi rotoru. Tvoří kotvu

nakrátko, která svým působením tlumí kyvy rotoru při náhlých změnách zatížení turbogenerátoru.

Rotor je po obou stranách uložen v ložiskách turbogenerátoru, mazaných olejem z mazacího systému turbíny. Před ložisky jsou dvouproudé olejové ucpávky, které zajišťují utěsnění vodíku uvnitř generátoru. [05]

Sběrací ústrojí generátoru

Sběrací ústrojí je na samostatné hřídeli, která je podepírána vlastním ložiskem. Skládá se z kroužků a kartáčů. Na jednu polaritu má 2 sběrací kroužky a 80 ks uhlíkových kartáčů o rozměrech 32x32x74,5 mm. Sběrací ústrojí je při provozu zakryto skříňní nástavkou s filtry. Ventilátory po obou stranách kroužků zajišťují vytváření podtlaku v prostoru styku kartáčů s kroužky, chlazení styčných míst a odsávání vznikajícího uhlíkového prachu do filtrů. Vzduch nasávaný ventilátory sběracího ústrojí je zvlhčován parním vyvíječem. Zvlhčení vzduchu má kladný vliv na kluzný kontakt mezi kroužky a kartáči. Rozložení proudové zátěže na jednotlivé kartáče kontroluje a vyhodnocuje diagnostický systém. [05]

Stator generátoru

Stator generátoru se skládá ze vzájemně odpružené vnější a vnitřní kostry. Vnitřní kostra statoru, ve které je uložen magnetický obvod s vinutím, je pružně uložena ve dvoudílné vnější kostře, na jejíž obě strany navazují dvoudílná víka.

Magnetický obvod statoru je sestaven ve vnitřní kostře z magneticky orientovaných, vzájemně izolovaných plechů. Stažení magnetického obvodu je provedeno nemagnetickými svorníky mezi dvě nemagnetické stahovací desky. Na stahovacích deskách jsou připevněné magnetické bočníky z orientovaných plechů, které stíní konce magnetického obvodu. Na vnitřním obvodu plechů je 42 drážek pro uložení statorového vinutí (7 drážek na pól a fázi).

Statorové vinutí je třífázové, je tvořeno třemi cívkami vzájemně prostorově pootočenými o 120° a spojenými do hvězdy. Každá cívka má dvě paralelní větve. Vinutí statoru tvoří permutované tyče uložené ve dvouvrstevném uspořádání v drážkách magnetického obvodu. Tyče jsou složeny z trojic měděných vodičů (mezi dvěma plnými izolovanými profily jeden dutý neizolovaný). V horní tyči je umístěno 2 x 8 trojic vodičů, ve spodní tyči 2 x 6 trojic vodičů. Tyče jsou na koncích propojené evolventními spojkami, tvořícími čela vinutí.

Magnetický obvod statoru a čela vinutí statoru jsou za provozu chlazeny vodíkem. Statorové vinutí v drážkách je za provozu chlazeno demineralizovanou vodou, která protéká dutými

vodiči.

Tři nulové vývody statorových cívek jsou vyvedeny v horní části víka statoru a spojeny do uzlu (nulové spojky), který je uzemněn přes primární vinutí měřicího transformátoru napětí. Nulová spojka je chlazena demivodou.

Tři fázové vývody jsou vyvedeny ve spodní části víka plynotěsnými průchodkami, které jsou rovněž chlazeny vodou a jsou uzpůsobeny pro napojení zapouzďřených vodičů.

Na víka vnější kostry statoru jsou připevněny štíty, v nichž jsou uloženy olejové ucpávky a ložiska rotoru. Z důvodu axiální dilatace vnější kostry vlivem teploty a tlaku vodíku je uložení štítů na základ provedeno kluzně se zajištěním osového vedení a s možností regulace přenosu sil zatěžujících základ. Ucpávky, ložiska a těsnící bríty jsou odizolovány od štítů k zamezení průniku ložiskových proudů. [05]

Základní (původní) parametry generátoru 1000 MW

Činný výkon	1000 MW
Zdánlivý výkon	1111 MVA
Účinitík ($\cos \varphi$)	0,9
Jmenovité napětí	24 kV
Jmenovité otáčky	3000 ot/min
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Jmenovitý proud statoru	26,73 kA
Jmenovité budicí napětí	513 V stejnosměrných
Jmenovitý budicí proud [05]	7280 A

4.2 Budicí soustava generátoru 1000 MW

Budicí soustava patří mezi rozhodující prvky zařízení generátoru 1000 MW. Její spolehlivá funkce zásadně ovlivňuje provozní spolehlivost elektrického bloku a tím i dodávku energie do sítě.

Úkolem budicí soupravy je pomocí stejnosměrného budicího proudu vytvořit elektromagnetické pole v rotoru generátoru. Další významnou úlohou budicí soupravy je plynulou regulací budicího proudu ovlivňovat velikost svorkového napětí generátoru nebo jalový výkon Q dodávaný do elektrizační soustavy. Na této regulaci je, mimo jiné, také závislá schopnost stroje zvládnout případné poruchové stavy vzniklé ve stroji samotném, či přicházející ze sítě.

Generátor má nezávislé buzení. Dvoupólové magnetické pole je v rotoru generátoru vytvářeno pomocí budícího proudu dodávaného z budícího generátoru nSR (budiče), tedy ze zdroje, který nezávisí na napětí a proudu statoru generátoru nebo na síti, do níž generátor pracuje. [05]

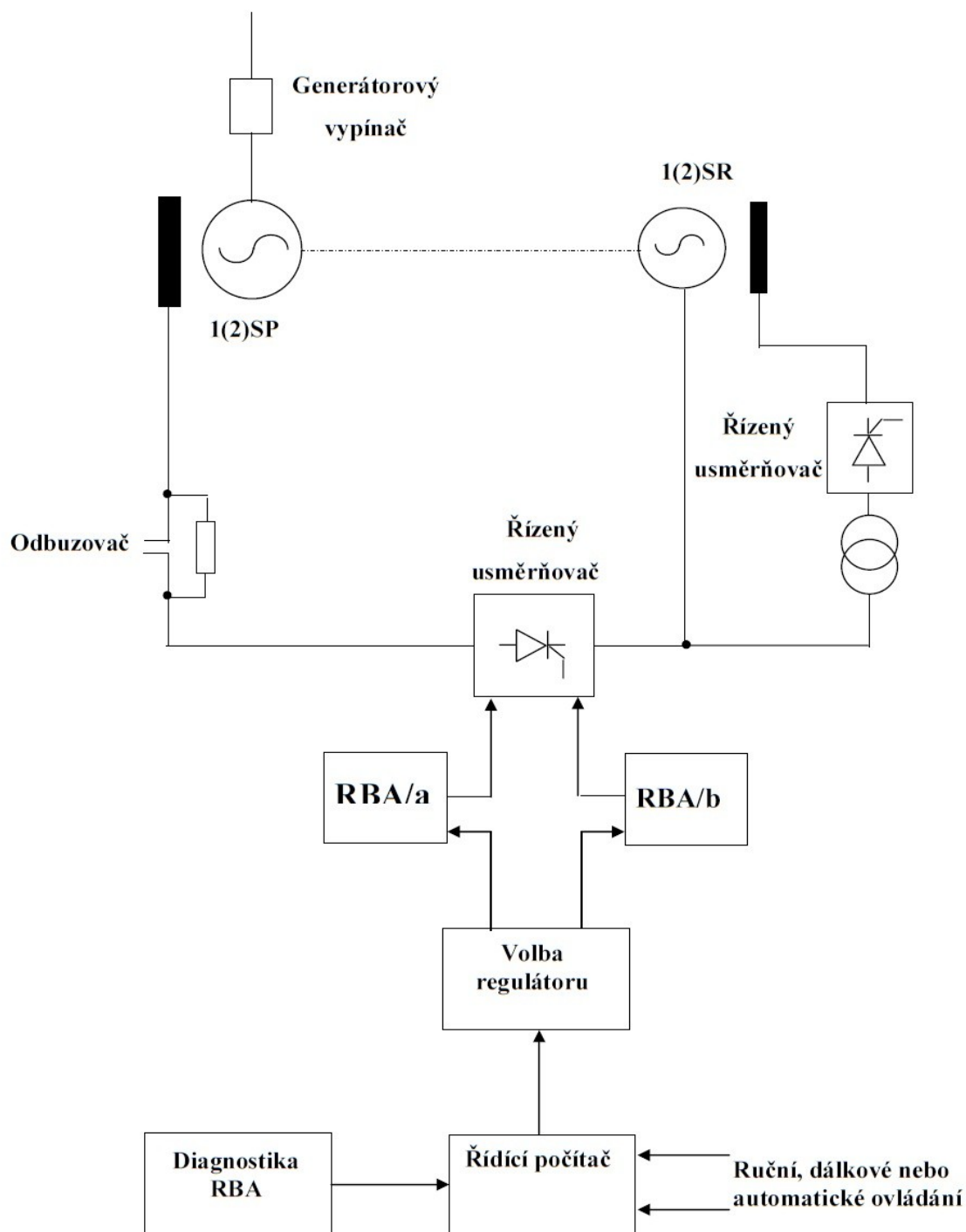
Princip a zapojení budící soustavy

Potřebnou energii pro buzení generátoru dodává střídavý budič (nSR), který je umístěn ve strojovně na společné hřídeli s parní turbínou a generátorem. Rotor budiče je spojen s rotorem sběracího ústrojí generátoru pevnou spojkou. [05]

Střídavý proud přiváděný ze svorek statoru budiče se usměrňuje pomocí statických tyristorových měničů, které slouží zároveň k regulaci velikosti budícího proudu. Z usměrňovače je již stejnosměrný proud veden na sběrací ústrojí generátoru, které je složeno ze čtyř kroužků (2x kladný pól a 2x záporný pól) umístěných na samostatné hřídeli sběracího ústrojí, a ze sběracích kartáčů. Z kartáčů přestupuje budící proud na kroužky a z nich pak do vinutí rotoru. Schéma zapojení budící soustavy je na obrázku 8.

Ještě před kartáči je v kladném pólu instalován odbuzovač, který je v podstatě výkonový stykač s nominálním proudem $I_n = 8000 \text{ A}$ se mřížkovým zhášením oblouku, k němuž je paralelně připojen zhášecí odpor. Odbuzovač je v nominálním režimu sepnut. Při odstavení generátoru od ochrany se odbuzovač rozpojí a zmařením budícího proudu ve zhášecím odporu se rotorové vinutí rychle odbudí.

Součástí budící soustavy jsou rozvaděče regulace napětí a rozvaděč buzení budiče. [05]



Obr. 8 Zjednodušené schéma budicí soustavy generátoru 1000 MW [05]

Komponenty budicí soustavy

Budicí generátor nSR

Budič je trojfázový synchronní alternátor chlazený vzduchem, který má vlastní závislé buzení. Budí se částí energie, kterou sám vyrábí. Budicí proud se přivádí ze statorových svorek budiče do transformátoru a do řízeného usměrňovače. Usměrněný budicí proud je přes sběrací soustavu budiče (dva kroužky, 2 x 4 kartáče) přiveden do rotorového vinutí budiče. Pro první nabuzení budiče slouží přívod z rozvodny 0,4 kV NN.

Stator budiče tvoří jednodílná vnitřní kostra, ve které je z dynamoplechů složen magnetický obvod statoru. Plášť kostry je z obou stran prodloužen přes prostor čel vinutí statoru a přes komory pro vstup ochlazeného cirkulujícího vzduchu k ventilátorům rotoru. Vinutí statoru je vyvedeno na spodní části stroje na straně ke sběracímu ústrojí. Je spojeno do trojúhelníku.

Rotor budiče je jednodílný výkovek. V drážkách na jeho obvodě je uloženo vinutí. Drážkové klíny vinutí jsou vodivě spojeny s nemagnetickými obručemi (stahovacími kruhy) rotoru a tvoří tlumič. Vinutí rotoru je vyvedeno na dva sběrací kroužky. Rotor budiče je umístěn v ložiskách napojených na mazací systém turbosoustrojí.

Cirkulaci chladícího vzduchu v budiči zajišťují dva axiální ventilátory na obou koncích rotoru. Na obou bocích kostry jsou uloženy chladiče vzduchu, protékané vodou z vloženého okruhu chlazení generátoru. [05]

Parametry budiče [05]:

Jmenovitý výkon	7700 kVA / 4370 kW
Jmenovité sdružené napětí	690 V
Jmenovitý proud statoru	6440 A
Buzení pro jmenovité zatížení	350 A, 110 V
Teplota vzduchu před chladičem	72 °C – výstražná hodnota 77 °C – poruchová hodnota
Teplota vzduchu za chladičem	45 °C – výstražná hodnota 50 °C – poruchová hodnota

Rozvaděč řídicí a regulační části

V rozvaděči se centralizují informace o stavu budicí soupravy. Diagnostiku a řízení budicí soupravy provádí zdvojený řídicí systém sestavený ze stavebnice PRIMIS. Regulátory pracují

paralelně, výběr je možný předvolbou z BD. V případě poruchy jednoho systému přechází funkce na druhý systém. Při poruše v budící soupravě diagnostika generuje signály VAROVÁNÍ, OMEZENÍ 1, OMEZENÍ 2, a Odstavení. Signály OMEZENÍ 1 a 2 zasahují do regulátoru a omezují výstupní napětí budiče, signál Odstavení vyvolá odstavení budiče a přechod na nenabuzený stav generátoru. Signály jsou současně vedeny na blokovou dozornu.

Regulátor je určen k regulaci buzení generátoru a umožňuje jeho regulaci napětí, regulaci jalového výkonu na hodnotu $Q = 0$ a regulaci budicího proudu. Je vybaven automatickým srovnávačem napětí generátoru a sítě, omezovači proudu rotoru a statoru, hlídačem meze podbuzení (HMP), omezovačem magnetického přesycení (U/f), čidlem zátěžného úhlu, stabilizačním členem, vlečnou regulací, statikou a diagnostikou. Umožňuje také dálkovou regulaci jalového výkonu při práci do ASRU. Regulátor dostává informace o velikosti napětí sítě, velikosti napětí a proudu generátoru, o budícím proudu, o žádané a skutečné hodnotě dodávaného jalového výkonu Q a korekční signály. Z regulátoru vystupují řídicí pulsy pro řízení usměrňovač. [05]

4.3 Pomocná hospodářství generátoru 1000 MW

Pomocná hospodářství tvoří příslušenství generátoru.

Plynové hospodářství

Jedná se především o primární chlazení turbogenerátoru vodíkem, dále o využívání oxidu uhličitého a stlačeného vzduchu pro napouštění a vypouštění vodíku.

Turbogenerátor je za provozu naplněn vodíkem pod tlakem 600 kPa. Vodík zajišťuje chlazení rotoru, rotorového vinutí, magnetického obvodu statoru a čel vinutí statoru.

Plynové hospodářství generátoru umožňuje udržování tlakového režimu a čistoty vodíku ve stroji, doplňování stroje vodíkem, napouštění a vypouštění vodíku a tzv. proplach oxidem uhličitým a stlačeným vzduchem. Proudění vodíku turbogenerátorem zabezpečují dva jednostupňové radiální kompresory umístěné na rotoru stroje. Odebrané teplo oteplený vodík předává v chladičích vloženému okruhu chlazení. Čtyři sekce chladiče vodíku jsou vestavěny z obou stran generátoru v čelech statoru.

Vodík se za provozu musí vysoušet, to zajišťují dva vymrazovače.

S ohledem na výbušnost směsi vzduchu s vodíkem, neplní se turbogenerátor vodíkem přímo. Nejprve se z generátoru vytlačí vzduch pomocí kysličníku uhličitého (CO_2) a teprve pak se stroj

naplní vodíkem, neboť směs kyslíčnicku uhličitého a vodíku je nevýbušná. Při vyprazdňování vodíkové náplně je postup opačný. [05]

Hospodářství těsnícího oleje (olejové hospodářství)

Olejové hospodářství zajišťuje zahlcování radiálních ucpávek rotoru generátoru tlakovým olejem, který zabraňuje úniku plynu (CO_2 , H_2) z generátoru do prostoru strojovny.

Ucpávky jsou konstruovány tak, že se do nich zavádějí dva těsnící oleje o vyšším tlaku, než je tlak vodíku ve stroji. Olejový film, vytvořený na čepech rotoru v ucpávkách, udrží ve stroji náplň vodíku o předepsaném tlaku. [05]

Vodní hospodářství

Vodní hospodářství generátoru zajišťuje cirkulaci chladicí vody dutými vodiči statorového vinutí. Odebrané teplo statorová voda předává v chladičích vloženému okruhu chlazení.

K chlazení se používá demineralizovaná voda, její elektrická vodivost, teplota, průtok a tlak se musí udržovat v předepsaných mezích. Stálou cirkulaci statorové vody zajišťuje dvojice čerpadel o výkonu 55 kW. Při jmenovitém provozu generátoru je požadovaný průtok statorové vody $160 \text{ m}^3/\text{hod}$.

Vložený okruh zajišťuje chlazení chladičů statorové vody, chladičů vodíku a chladičů vzduchu budiče. Tento okruh má za úkol zabránit průniku cirkulační chladicí vody do okruhů náročných na čistotu. Jako chladicí médium zde slouží také demineralizovaná voda. [05]

4.4 Provoz generátoru 1000 MW

Provozní režimy generátoru

Chod naprázdno

V režimu chod naprázdno se stroj nachází při rozběhu před přifázováním k elektrizační síti nebo při provádění napěťových zkoušek generátoru (kontrola charakteristiky naprázdno). Při chodu naprázdno můžeme změnou rotorového budícího proudu měnit svorkové statorové napětí a změnou množství páry měnit otáčky turbosoustrojí, tedy frekvenci svorkového statorového napětí. [05]

Chod nakrátko

Chod na krátko může být použit při provozních zkouškách generátoru. Obvykle se kontroluje několik bodů charakteristiky nakrátko. [05]

Fázování

Fázování je přechodový děj, vedoucí k připojení generátoru k elektrizační soustavě, za splnění fázovacích podmínek:

- Shodný sled fází generátoru a sítě
- Shodné napětí na svorkách generátoru a na straně sítě
- Shodný kmitočet generátoru a sítě
- Nulový fázový posun mezi fázory napětí generátoru a sítě

Pokud nejsou splněny fázovací podmínky, vznikne při připojení generátoru k elektrizační soustavě proudový ráz, který může generátor poškodit. [05]

Chod do sítě se zatížením

Chod do sítě se zatížením je nominálním provozním režimem, který nastává po přifázování generátoru k elektrizační soustavě. Vlivem nekonečně silné elektrizační soustavy je výše svorkového napětí a frekvence konstantní, hodnoty jsou generátoru vnuceny elektrizační sítí. Změnou mechanického výkonu parní turbíny se mění činný výkon generátoru. Změnou velikosti budícího proudu se mění jalový výkon. [05]

Chod v samostatné síti

Tento výjimečný ostrovní provozní režim nastane v případě odpojení bloku od sítě 400 kV. Generátor zreguluje svůj výkon pomocí regulátoru ostrovního povelu. Tento regulátor se aktivuje také, pokud kmitočet sítě je větší než $50_{-0,2}^{+0,2}$ Hz nebo trend změny je větší než 150 ot./s. Regulace turbíny se přepíná do otáčkové regulace. Změnou množství páry dodávané na turbínu se mění otáčky a tedy frekvence svorkového napětí, změnou velikosti budícího proudu se mění svorkové napětí generátoru. Výkon je regulován podle velikosti ostrova, který ho zpětně ovlivňuje svou napájenou zátěží. Nejmenší ostrov je chod na VS. [05]

Zkoušky a náběh generátoru

Před uvedením generátoru do provozu je nutné zkontrolovat kompletnost celého stroje, budícího systému, kompletnost pomocných hospodářství a jejich správnou funkci včetně izolačního stavu vinutí generátoru a budiče. Dále zkontrolovat napájení řídicích a diagnostických systémů,

provést zkoušky elektrických ochran generátoru, budicího systému a připravit budicí soustavu.

Příprava před přifázováním mimo jiné zahrnuje testování provozní diagnostiky a kontroly parametrů náplně vodíku a těsnícího oleje v generátoru. Po najetí generátoru na provozní otáčky a kontrole mechanického chodu se kontrolují teploty ložisek generátoru během najíždění a na provozních otáčkách. Po zapnutí budicího systému a nabuzení na 80 % se zapne automatický fázovač a kontroluje se přifázování generátoru.

Pro fázování generátorů se prioritně používá automatické fázování. Ruční fázování se obvykle používá pouze v případě, kdy nelze z důvodu poruchy fázovače automaticky fázovat. Automatický fázovač SYNCHROTECT 4 si zajišťuje řízením otáček generátoru pouze jednu fázovací podmínku, a to shodu fází. Před zapnutím fázovače je nutné zkontrolovat srovnání napětí generátoru a sítě a udržovat nadsynchronní otáčky v pásmu $(3001 \div 3003)$ ot./min.

Přifázování generátoru k elektrizační soustavě se provede sepnutím generátorového vypínače.

Po přifázování se opět zkontroluje mechanický chod a teploty ložisek generátoru, nastavení základního zatížení generátoru a správný provoz pomocných systémů. [05]

Nominální provoz generátoru

Maximální dovolené zatížení alternátoru je prezentováno výrobcem stroje ve formě tzv. „provozního diagramu“ (P-Q diagram stroje – viz příloha M).

Diagram je velmi důležitý pro správné řízení provozu generátoru v různých režimech zatížení a v různých provozních stavech stroje. Meze provozního diagramu jsou proměnné, závislé na tlaku vodíku ve stroji a na změně svorkového napětí stroje. S poklesem tlaku vodíku dochází ke zhoršení chlazení, s poklesem svorkového napětí se meze provozního diagramu zmenšují.

Základními provozními stavy z hlediska zatížení stroje jsou přebuzený stav (generátor pracuje v induktivní oblasti) a podbuzený stav (generátor pracuje v kapacitní oblasti). V přebuzeném stavu je generátor zdrojem jalového induktivního výkonu, dodává jalový induktivní výkon do sítě. V podbuzeném stavu je generátor zdrojem jalového kapacitního výkonu, odebírá jalový induktivní výkon ze sítě.

Každý bod plochy vymezené provozním diagramem představuje zatížení stroje příslušným činným a jalovým výkonem při jmenovitém napětí na svorkách stroje a při jmenovité frekvenci.

Provoz generátoru je řízen regulačními prostředky parní turbíny a regulátorem napětí generátoru s bezpečným odstupem od mezí P-Q diagramu. V případě selhání funkce regulátorů časově

selektivně působí elektrické ochrany generátoru. Údaj o aktuálním provozním bodu generátoru je každých 10 s zobrazován na blokové dozorně včetně přepočtu meze P-Q digramu.

Maximální dovolené zatížení generátoru je určováno různými omezujícími faktory, z nichž nejvýznamnější je oteplení statorového vinutí, oteplení rotorového vinutí, oteplení magnetického obvodu statoru a statická stabilita stroje.

Oteplení rotorového (budícího) vinutí stroje v přebuzené oblasti způsobuje budící proud, jehož mezní dovolená hodnota je daná.

Oteplení statorového vinutí stroje způsobuje v přebuzené i podbuzené oblasti statorový proud, jehož mezní dovolená hodnota je daná hodnotou trvale přípustného nadproudu $1,05 I_{ng}$, tj. 28,063 kA.

Zvýšený ohřev v čelních partiích statoru je způsoben zvýšením ztrát v čelech stroje, ke kterému dochází při provozu v induktivním zatížení s účínkem 1 nebo při provozu s kapacitním zatížením.

Statická stabilita stroje může výrazně ovlivňovat provoz stroje především v kapacitní (podbuzené) oblasti generátoru.

Při nominálním provozu jsou udržovány jmenovité hodnoty generátoru, budící soustavy a jmenovité parametry pomocných hospodářství. Obvody provozního měření elektrických veličin generátoru jsou předmětem systému vyvedení elektrického výkonu do přenosové soustavy.

Během provozu se provádí provozní a diagnostická měření, která kontrolují izolační stav, větrání a chlazení generátoru, teploty ve stroji, stav a teploty ložisek, stav mazacího systému, chvění ložisek a rotoru, chvění čel vinutí statoru, stav sběracího ústrojí a hluk a chování stroje. [05]

Regulace napětí a jalového výkonu generátoru

Primární regulace napětí a jalového výkonu se provádí regulátorem buzení generátoru a výkonovým regulátorem turbíny dle požadavku sítě.

Sekundární regulaci napětí a jalového výkonu zadává, na základě měření napětí sítě v uzlu Kočín, automatický sekundární regulátor napětí do skupinového regulátoru jalového výkonu na ETE požadovanou změnu dodávaného jalového výkonu Q . Skupinový regulátor tento požadavek předá primárnímu regulátoru buzení v budící soupravě generátoru, který požadavek splní prostřednictvím změny buzení generátoru a činný výkon se nastaví výkonovým

regulátorem turbíny.

Tyto regulace se nachází v oblasti P-Q diagramu generátoru. [05]

Technologické ochrany generátoru

Technologické ochrany odstavují generátor nebo turbosoustrojí v případě poruch nebo překročení mezních hodnot v pomocných hospodářstvích generátoru nebo budicího systému.

Technologické poruchové hodnoty pro úplné odstavení generátorového soustrojí [05]

Teplota kovu pánve ložisek turbogenerátoru	max.	120 °C
Teplota kovu pánve ložiska rotoru sběracího zařízení	max.	120 °C
Teplota kovu pánve ložiska budiče	max.	120 °C
Čistota vodíku v generátoru	min.	92 %
Přetlak těsnícího oleje na straně vodík	min.	80 kPa
Přetlak těsnícího oleje na straně vzduch	min.	70 kPa
Hladina kapaliny ve sběrači vody a olej	max.	710 mm
Přetlak vodíku ve vyrovnávací nádobě okruhu stat. vody	max.	30 kPa

Stabilita generátoru a sítě

Ztráta stability generátoru může být z:

- Vnitřní příčiny: má svůj původ v budicí soupravě. Následkem bývá ztráta buzení generátoru končící jeho asynchronním chodem.
- Vnější příčiny: má svůj původ ve změnách provozních poměrů ve vnější síti. Následkem je nesynchronní protáčení rotoru plně nabuzeného generátoru, tzv. „prokluz pólů“.

Základním úkolem zajištění stability provozu ES je zachování synchronního chodu zdrojů při pomalých i rychlých změnách v ES. V ETE se využívají následující systémy pro zajištění stability chodu ES v případě jejího narušení:

1. Rychlé buzení generátoru: nárazové buzení generátorů v případě potřeby až do hodnoty stropního buzení $1,6 I_{bn}$. Včasným přibuzením generátoru a dodávkou jalového výkonu

Q do místa zkratu se kompenzuje vzniklý úbytek napětí resp. pokles napětí generátoru, ke kterému v okamžiku zkratu dojde, a který vyvolá zvětšení zátěžného úhlu. Tím je posílena magnetická vazba mezi statorem (sítí) a rotorem generátoru a eliminují se vzniklé kyvy rotoru generátoru.

2. Parametrická kompenzace: zapínání kompenzační tlumivky 350 MVar v rozvodně Kočín umožňuje provozovat generátory v ETE v přebuzené oblasti i při odlehčených tranzitních linkách 400 kV pracujících pod přirozeným výkonem, kapacitní zátěží. Tím je stále zajištěna dostatečná zásoba statické stability přenosu mezi generátory a vnější sítí.
3. Rychlé řízení ventilů turbíny: v okamžiku blízkého zkratu dochází k prudkému zvětšení zátěžného úhlu generátoru, zkrat odlehčuje turbosoustrojí od činného výkonu. Riziko narušení dynamické stability generátoru závisí na výkonu turbosoustrojí těsně před poruchou. Pro generátor na ETE byla tato hranice stanovena na hodnotu 800 MW. Pokud při výkonu generátoru menším než 800 MW vznikne blízký zkrat v základním zapojení rozvodny 400 kV Kočín, nebude to znamenat pro generátory s funkčním buzením ztrátu synchronismu. Pokud je výkon generátoru vyšší než 800 MW, může dojít v případě blízkého třífázového zkratu vlivem náhlého odlehčení od činného zatížení k výpadku generátoru ze synchronismu a k následným prokluzům pólů stroje. Tento prokluz se reguluje zpomalením turbíny uzavřením regulačních ventilů. [05]

5 Transformátory a další zařízení ve vyvedení výkonu a ve vlastní spotřebě

5.1 Blokový transformátor

Blokový transformátor slouží k transformaci svorkového napětí generátoru 24 kV na napětí elektrizační sítě 400 kV pro vyvedení vyráběného výkonu a k transformaci napětí sítě 400 kV na napětí 24 kV pro napájení odbočkových transformátorů vlastní spotřeby bloku a při vypnutém stavu generátorového vypínače. [05]

Konstrukce a parametry blokového transformátoru

Blokový transformátor je tvořen třemi jednofázovými transformátory s nuceným olejovým chlazením. Jednofázové jednotky jsou umístěny na samostatných, protipožárně oddělených stanovištích ve venkovní rozvodně 400 kV příslušného bloku.

Průchodky na straně 400 kV jsou připojeny na venkovní vedení 400 kV do rozvodny Kočín. Průchodky na straně 24 kV jsou připojeny zapouzďenými vodiči na zapouzďené vodiče vyvedení vyrobeného výkonu (28 kA, 24 kV).

Spojení transformátoru je provedeno na straně 400 kV uzemněním uzlu vinutí pomocí lanové přípojnice připojené na zemnicí síť. Na straně 24 kV je zapojení do trojúhelníku vytvořeno zapojením zapouzďených vodičů na průchodky transformátorových jednotek.

Transformátor se skládá z nádoby, která je opatřena armaturami pro plnění transformátoru olejem, pro odběry vzorku oleje a vypouštění olejové náplně, potrubím systému chlazení a dvěma pojistnými klapkami. Uvnitř nádoby je izolovaně uložen magnetický obvod. Aby se snížily ztráty v železe transformátoru je magnetický obvod složen z magneticky orientovaných a vzájemně izolovaných transformátorových plechů. Magnetický obvod je plášťový. Na jádrech magnetického obvodu jsou z měděného vodiče navinuty cívky vinutí 400 kV a 24 kV. Strana napětí 24 kV je přizpůsobena pro připojení zapouzďených vodičů přes průchodky 24 kV a pružné spojky. Na straně napětí 400 kV je vývod proveden přes průchodku 500 kV na lanové vedení rozvodny 400 kV. Konec pro uzel vinutí je vyveden přes průchodku 110 kV, uzel vinutí na straně 400 kV je trvale uzemněn. Nádobu transformátoru je zcela zaplněna transformátorovým olejem, který chladí magnetický obvod a izoluje vinutí od pláště nádoby.

Nad víkem transformátorové nádoby je umístěna dilatační nádoba, která umožňuje teplotní

změny objemu oleje transformátoru.

Chlazení transformátoru je zajištěno nucenou cirkulací oleje přes chladiče. [05]

Parametry blokového transformátoru:

Jmenovitý výkon	3 x 400 MVA
Převod napětí	24 / 420 kV
Převod proudu	16666 / 1650 A
Spojení vinutí	YNd1
Napětí nakrátko	14% ± 10 %
Ztráty nakrátko	750 kW + 10 %
Ztráty naprázdno [05]	240 kW + 15 %

Provoz blokového transformátoru

Transformátor se uvádí pod napětí zapnutím blokových vypínačů 400 kV. Nominálním provozním režimem blokového transformátoru je provoz pod zatížením.

Transformuje elektrickou energii:

- Vyrobenou a vyvedenou ze svorek generátoru, zatížení může být až jmenovité
- Pro napájení blokové vlastní spotřeby při vypnutém generátorovém vypínači, zatížení dosahuje max. 8%

Při provozu transformátoru musí být zabezpečena pravidelná kontrola teploty oleje v horní vrstvě v nádobě transformátoru. Nejvyšší teplota horní vrstvy oleje má být nejvíce o 55 °C nad teplotu okolí. Transformátor je vypnut termostatem při dosažení nebezpečné teploty oleje 85 °C. [05]

5.2 Odbočkový transformátor

Odbočkové transformátory jsou pracovním zdrojem pro napájení vlastní spotřeby bloku a společné vlastní spotřeby ETE. Napájí rozvodny 6 kV systému nezajištěného napájení. [05]

Konstrukce a parametry odbočkového transformátoru

Konstrukčně je transformátor proveden jako třífázová jednotka s nuceným olejovým chlazením podobné konstrukce jako blokový transformátor.

Na jádrech magnetického obvodu je navinuto vinutí 24 kV a dvě vinutí 6,3 kV.

Primární vinutí na straně 24 kV je přizpůsobeno pro připojení zapouzdřených vodičů 18 kA, 24 kV na odbočce z vývodu vyrobeného výkonu pro blokový transformátor. Sekundární strana 6,3 kV má dvě samostatná sekundární vinutí, která napájí zapouzdřenými vodiči 4 kA, 10 kV dvě rozvodny 6 kV.

Na straně 24 kV je instalován odporový přepínač odboček s motorovým pohonem. Tento přepínač umožňuje 9-ti stupňovou regulaci převodu transformátoru v závislosti na úrovni napětí v napájených rozvodnách vlastní spotřeby. Přepínač odboček je řízen regulátorem napětí.

Chlazení transformátoru je zajištěno nucenou cirkulací oleje přes 4 chladicí jednotky umístěné na boku nádoby transformátoru. [05]

Parametry odbočkového transformátoru

Jmenovitý výkon	63 / 31,5 / 31,5 MVA
Převod napětí	$24 \pm 4 \times 4 \% / 6,3 / 6,3$ kV
Převod proudu	1513 / 2887 / 2887 A
Spojení vinutí	Dd0d0
Napětí nakrátko	9 % / 9 % / 18 %
Ztráty nakrátko	230 kW + 15 %
Ztráty naprázdno [05]	47 kW + 15 %

Provoz odbočkového transformátoru

V nominálním provozu jsou odbočkové transformátory pod napětím. Mohou pracovat ve dvou režimech:

- Nominálním: obě sekundární vinutí jsou zatěžována v rozsahu od 0 % I_n do 100% I_n .
- Nestandardním: jedno sekundární vinutí pracuje v režimu „naprázdno“. Druhé vinutí lze zatížit po omezenou dobu. [05]

5.3 Generátorový vypínač

Generátorový vypínač, který je umístěn v odděleném prostoru pod generátorem. Je jediným vypínacím prvkem v linii vyvedení výkonu umístěným přímo v areálu elektrárny. Jeho prostřednictvím se provádí přifázování generátoru k elektrizační soustavě nebo ve vypnutém stavu umožňuje napájení vlastní spotřeby bloku přímo ze sítě 400 kV. V případě působení ochrany je generátorový vypínač schopen vypínat nejen provozní, ale i zkratové proudy. [05]

Popis generátorového vypínače

Generátorový vypínač je tlakovzdušný výkonový vypínač s kombinovaným chlazením. Stlačený vzduch je použit jak k pohonu kontaktů vypínače, tak i ke zhášení elektrického oblouku. Vypínač je přizpůsoben pro připojení k zapouzdřeným vodičům. Zařízení generátorového vypínače se skládá ze tří jednofázových jednotek (pólů R, S, T). Tlakovzdušné a chladicí hospodářství jsou společná pro všechny tři póly.

Pól vypínače se skládá z tělesa, pneumatického ovládání, výfuku, ze dvojité výkonové komory s kontakty, z odpojovače, řídicí skříně a systému chlazení.

Těleso pólu je připojeno na zapouzdřený vodič pružnou spojkou. V boční desce tělesa je umístěn průzor, kterým je možné kontrolovat polohu odpojovače.

Pneumatické ovládání pólu zahrnuje vzdušník s hlavní řídicí jednotkou, ventily odpojovače a pojistný ventil. Vzdušník je zavěšen na patkách vypínače. Ze vzdušníku jsou vyvedena pneumatická potrubí do zásobníků zhášecích komor.

Ve výkonové komoře se provádí spínání a vypínání obvodu. Tlakový vzduch ve výkonové komoře slouží pro pohon výkonového kontaktu a kontaktní růžice a rovněž pro zhášení oblouku při vypínání. Paralelně k výkonové komoře je zapojen zhášecí odpor. Po oddělení kontaktů ve výkonové komoře je hlavní proudový obvod přerušen a proud je veden přes zhášecí odpor. Okruh zhášecího odporu je pak vypínán zhášecími komorami. Při zapínání je aktivována pouze jedna zhášecí komora. Při spínací operaci je vyfukován tlakový vzduch nahromaděný ve výkonové komoře do okolního prostoru trubkou výfuku. Vyfukovaný vzduch je v tělese výfuku čištěn a nepřichází do styku s vnitřním prostředím vypínače, které se tak nemůže znečistit.

Odpojovač je upevněn v tělese vypínače podpěrnými izolátory. Ty tlumí spínací rázy a v jejich střední části jsou umístěny izolační trubice, které slouží pro přívod vzduchu do odpojovače. Odpojovač spojuje nebo rozpojuje obvod vždy bez zatížení. [05]

Základní technické údaje generátorového vypínače

Vypínací proud při 24 kV	200 kA symetricky 260 kA asymetricky
Zapínací proud	540 kA
Pracovní tlak vzduchu	(2,60 ÷ 3,23) MPa
Zásobní tlak vzduchu	(14,5 ÷ 15,0) MPa
Spínací časy vyp. / zap.	(55 / 240) ms
Spotřeba vzduchu pro zapnutí	3,1 m ³
pro vypnutí	3,85 m ³
pro vypnutí zkratu	6,5 m ³
ovládací napětí [05]	220 V stejnosměrné napětí

5.4 Zapouzdřené vodiče

Zapouzdřené vodiče jsou použity na trase vyvedení vyrobeného výkonu od generátoru k blokovému transformátoru, v odbočkách k odbočkovým transformátorům a ve všech vývodech 6 kV tras od odbočkových nebo rezervních transformátorů k rozvodnám 6 kV.

Konstrukční uspořádání zapouzdřených vodičů zajišťuje úplné vzájemné oddělení fázových vodičů a tím vyloučení mezifázových zkratů, bezpečné oddělení fází při zkratových proudech a vzniklých dynamických silách. Současně se elektrickým odstíněním vodičů snižují ztráty elektromagnetickým vyzařováním do okolních kovových konstrukcí.

V zapouzdřeném vodiči je vlastní vodič vývodu nesen pomocí podpěrných izolátorů v koaxiálním hliníkovém pouzdru. Izolační systém zapouzdřených vodičů je tvořen kombinací keramický izolant - vzduch, resp. epoxidová pryskyřice - vzduch.

Pouzdro tvoří trubky průměru až 1500 mm, tloušťka stěny (3 - 8) mm, které mohou být samonosné až do délky 20 m. Všechny spoje zapouzdřených vodičů jsou svařované. Šroubové spoje se používají pouze pro připojení elektrických zařízení. Pouzdra vodičů všech tří fází jsou na začátku a na konci trasy spojena nakrátko, celý úsek je v jednom místě uzemněn. [05]

Zapouzdřené vodiče 24 kV

Zapouzdřené vodiče 24kV jsou použity v hlavní trase vyvedení vyrobeného výkonu, k propojení jednofázových jednotek blokového transformátoru do trojúhelníku a pro odbočení na odbočkové transformátory.

Je to v podstatě holý hliníkový vodič zhotovený zkroužením plechu a opatřený koaxiálním hliníkovým pouzdrům. Poloha vodiče vůči pouzdru je zajišťována trojicemi podpěrných izolátorů. K nosné ocelové konstrukci je zapouzdřený vodič připevněn pomocí nosných objímk, patek a příčníků. Podélná tepelná dilatace vodičů je zachycena pružnými spojkami, které jsou oboustranně svařované. Každá pružná spojka je zakryta dvojdielným krytem, který umožňuje podélnou tepelnou dilataci pouzder.

Zapouzdřené vodiče ve svislé části pod generátorem se chladí profukováním vzduchu. Chlazení ve vodorovné části je zajištěno vodním chlazením, cirkulací demivody. [05]

Zapouzdřené vodiče 10 kV

Tyto zapouzdřené vodiče jsou použity ve vývodech s napětím 6 kV z odbočkových transformátorů do blokových rozvoden 6 kV, ve vývodech od rezervních transformátorů do 6 kV rozvoden rezervního napájení vlastní spotřeby a v propojení systémů rezervního napájení a dále v přívodech od rozvoden rezervního napájení do blokových rozvoden 6 kV. Ve všech úsecích jsou použity zapouzdřené vodiče 10 kV, 4 kA.

Vodič je vyroben z hliníkové trubky průměru 132 / 16 mm. Hliníkové pouzdro má průměr 270 / 8 mm. Izolátory jsou na prvním výrobním bloku průchodkové a na druhém výrobním bloku podpěrné vyrobené z keramické hmoty. Pouzdra jsou spojena kompenzačními deskami a úseky jsou jednobodově uzemněny. [05]

5.5 Uzemňovač

Uzemňovač je určen pro zkratování všech tří fází zapouzdřených vodičů a jejich uzemnění. Používá se pro zajištění pracoviště nebo pro primární zkoušky elektrických ochran.

Je to třípólový přístroj, který se skládá ze tří jednopólových posuvných kontaktů, tří servopohonů a jedné řídicí skříně. Póly uzemňovače jsou propojeny a uzemněny.

Uzemňovač nemá možnost spínat žádné proudy! [05]

6 Využití projektových rezerv a modernizace turbíny

6.1 Primární okruh

Zvýšení výkonu generátoru v JE Temelín začal projektem využitím projektových rezerv v primárním okruhu a v aktivní zóně. Studie ukázala, že po výměně dodavatele jaderného paliva, WEC za TVEL, toto nové ruské palivo je schopno dodávat 3120 MW tepelných, což činí zvýšení výkonu reaktoru o 4 % při zachování limit lineárního výkonu.

Pro takto zvýšený výkon reaktoru se musel spočítat minimální průtok chladiva reaktoru pro uchazení aktivní zóny. Původní minimální průtok činil 80000 m³/h. Pro výkon reaktoru 3120 MW byl minimální průtok vypočítán na 83000 m³/h. Měřený provozovaný průtok chladiva je okolo 85000 m³/h, což dává rezervu při vyhodnocení krize varu. Ostatní parametry zůstávají beze změn.

K dosažení provozu reaktoru na zvýšeném výkonu na 310 efektivních dnech je třeba každoročně při odstávce reaktoru vyměnit 42 palivových souborů místo původních plánovaných 36 palivových souborů. [01]

6.2 Sekundární okruh

Modernizací parní turbíny se dosáhlo efektivnějšího provozu hlavního výrobního bloku, tzn. možnost vyrobit po dobu provozu obou bloků až o 340 GWh více. To odpovídá spotřebě 300000 t hnědého uhlí, které se nemusí spálit a tak do ovzduší vypustit cca 250000 t CO₂.

Modernizace parní turbíny na prvním výrobním bloku spočívala ve výměně tří nízkotlakých dílů parní turbíny včetně statorových částí a systému regulace turbíny. Nové rotory lépe využijí páru přicházející do turbíny díky novému způsobu lopatkování. Šedesát metrů dlouhé turbosoustrojí se skládá z jednoho vysokotlakého dílu, tří nízkotlakých dílů a generátoru. Váží dva tisíce tun a rotor se za vteřinu otočí padesátkrát. Obvodová rychlost nejdelších, lehce přes metr dlouhých lopatek, je 2500 km/h, tedy přibližně dvakrát více než je rychlost zvuku.

Díky této výměně se dosáhlo zvýšení výkonu generátoru o dvě procenta, tedy o 22 MW. Druhý výrobní blok čeká modernizace parní turbíny v roce 2015. [06]

7 Úprava generátoru pro využití zvýšeného výkonu bloku, důsledky a změny pro navazující zařízení

Požadavek maximalizovat výkon generátoru při minimálních úpravách vedl na nutnost provést analýzy pro nalezení maximální zatížitelnosti jednotlivých hlavních zařízení vyvedení výkonu. V případě generátoru byla použita metoda nalezení výkonového stropu. .

Východiskem pro posouzení dalších zařízení ve schématu vyvedení výkonu byla analýza dosažitelných výkonových schopností stávajících generátorů. Výsledkem byl maximální přípustný statorový a rotorový proud v závislosti na teplotě chladicí vody generátoru.

Výkonový strop generátoru byl stanoven na:

- $S_n = 1250$ MVA (z původní hodnoty $S_n = 1111$ MVA)
- $I_n = 30070$ A (z původní hodnoty $I_n = 27000$ A)

Pro zhodnocení výkonové rezervy, která zbývá do uvedeného stropního výkonu (proudu), byl stanoven maximální reálný proud generátoru odpovídající maximálnímu výkonu dodávanému turbínou. Maximální zvýšený výkon na hřídeli turbíny byl upřesněn podle výsledků analýz strojní části na 1101 MW (při min. teplotě chladicí vody 13 °C a tepelném výkonu reaktoru 104 %). Z této hodnoty byl za pomoci rozboru pracovního bodu generátoru v P-Q diagramu stanoven maximální provozní proud 29,1 kA při rezervě přibližně 1 kA (40 MVA). [08]

7.1 Přetypování generátoru na 1125 MW, 1250 MVA

Na základě provozních zkoušek stávajících generátorů o parametrech:

Činný výkon	1000 MW
Zdánlivý výkon	1111 MVA
Jmenovité napětí	24 kV
Jmenovité otáčky	3000 ot/min
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Jmenovitý proud statoru	26,73 kA

při teplotě sekundární chladicí vody 33 °C a tlaku vodíku 600 kPa (abs.) byly vyhodnoceny hodnoty teplot aktivních částí generátoru:

Teplota primární chladicí vody na výstupu ze statorového vinutí	68 °C
Teplota rotorového vinutí	81 °C
Teplota jádra statoru	87 °C

Zvýšený výkon byl stanoven s ohledem na požadavek normy ČSN EN 60034-3 na poměrný proud na krátko, který nesmí být nižší než 0,35 a požadavek normy ČSN EN 60034-1 na teplotu primární chladicí vody na výstupu ze statorového vinutí při poklesu napětí na 0,95 U_n , která nesmí být vyšší než 90 °C. Těmto požadavkům vyhovuje provozní stav generátoru určený novými parametry:

Činný výkon	1125 MW
Zdánlivý výkon	1250 MVA
Jmenovité napětí	24 kV
Jmenovité otáčky	3000 ot/min
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Jmenovitý proud statoru	30,07 kA

při teplotě sekundární chladicí vody 33 °C a tlaku vodíku 600 kPa (abs.)

Se zvýšeným proudem statorového vinutí se zvýšily i ztráty odváděné primární chladicí vodou statorového vinutí. Rovněž se zvýšily i ztráty odváděné do vodíku v důsledku zvýšení statorového a rotorového proudu. Teploty vinutí a chladiv nepřekročily hodnoty dané normou ČSN EN 60034-1, teplota primární chladicí vody na výstupu ze statorového vinutí nepřekročila 90 °C a rotorového vinutí 105 °C.

Zvýšený výkon je generátor schopen dodávat trvale a jeho provoz vyhovuje kodexu přenosové soustavy. Nejvyšší budící proud 7688 A je dosažen při provozu s jmenovitým výkonem, napětím 102 % U_n a frekvencí 48,5 Hz. Tomuto provoznímu stavu odpovídá budící napětí 552 V. [08]

7.2 Úprava spojovacích pásů, vibrace vinutí generátoru

Vibrace kostry statoru zůstaly stejné, jelikož magnetický tok se v generátoru nezměnil. Síly přenášené do základu generátoru za provozu se změnily v poměru zvýšení výkonu. Zkratové síly se však nezměnily, protože moment ve vzduchové mezeře generátoru se nezměnil.

Elektrodynamické síly působící na koš čel vinutí způsobily při zvýšeném výkonu generátoru i nárůst amplitudy vibrací čel vinutí o 20 % až 40 %. Takto namáhané statorové vinutí v důsledku vyšších vibrací neovlivňuje izolační systém vzhledem ke způsobu jeho upevnění. Vyšší vibrace

by mohly způsobit větší namáhání spojovacích pásů. To eliminovala úprava spočívající v jejich vyztužení, přidáním výztuhy s izolací pro odstranění rezonance s první harmonickou (rezonance na 50 Hz). [10]

7.3 Konstrukční vzpěry generátoru

Čepy a spojka jsou namáhány kroutícím momentem síle 3581 kNm, který je přímo úměrný zvýšení výkonu. Toto zvýšení není pro tyto části podstatné, jelikož jsou tyto části dimenzovány na moment o velikosti 21155 kNm vznikající při zkratu na svorkách generátoru. Tato hodnota momentu se v důsledku zvýšení výkonu nezměnila, protože zůstala zachována geometrie vinutí a jeho napětí.

U konstrukčních vzpěr zajišťujících mechanickou tuhost statoru bylo zjištěno, že konstrukční vzpěra v blízkosti budiče je zasazena zvýšeným rozptylovým polem čela statorového vinutí. Tento zvýšený tok způsobil zvýšenou místní teplotou této vzpěry. Tato vzpěra se nachází v blízkosti spojovacích kruhů statorového vinutí a v přibližně stejné vzdálenosti od ní jsou umístěné i dva fázové vývody.

K analýze problému byl použit software OPERA-3D, který pro řešení používá metody konečných prvků. Vytvořil se model, který zahrnoval kostru generátoru, spojovací kruhy a fázové vývody, viz obrázek 9.

Tato úloha byla analyzována ve třech základních variantách:

1. Stávající stav – získání představy o rozložení vířivých proudů v konstrukční vzpěře a o velikosti ztrát vyvolaných těmito vířivými proudy
2. Na konstrukční vzpěře je umístěna v místě největší hustoty vířivých proudů měděná trubka o vnějším průměru 163 mm, tloušťkou stěny 15 mm, délky 700 mm a 1000 mm. Tato měděná trubka by měla zredukovat ztráty vířivými proudy a proudy indukované do konstrukční vzpěry ($\mu_{rCu} \ll \mu_{rFe}, \gamma_{Cu} \gg \gamma_{Fe}$)
3. Nahrazení stávající magnetické konstrukční vzpěry vzpěrou nemagnetickou, která by měla díky svým vlastnostem výrazně snížit ztráty.

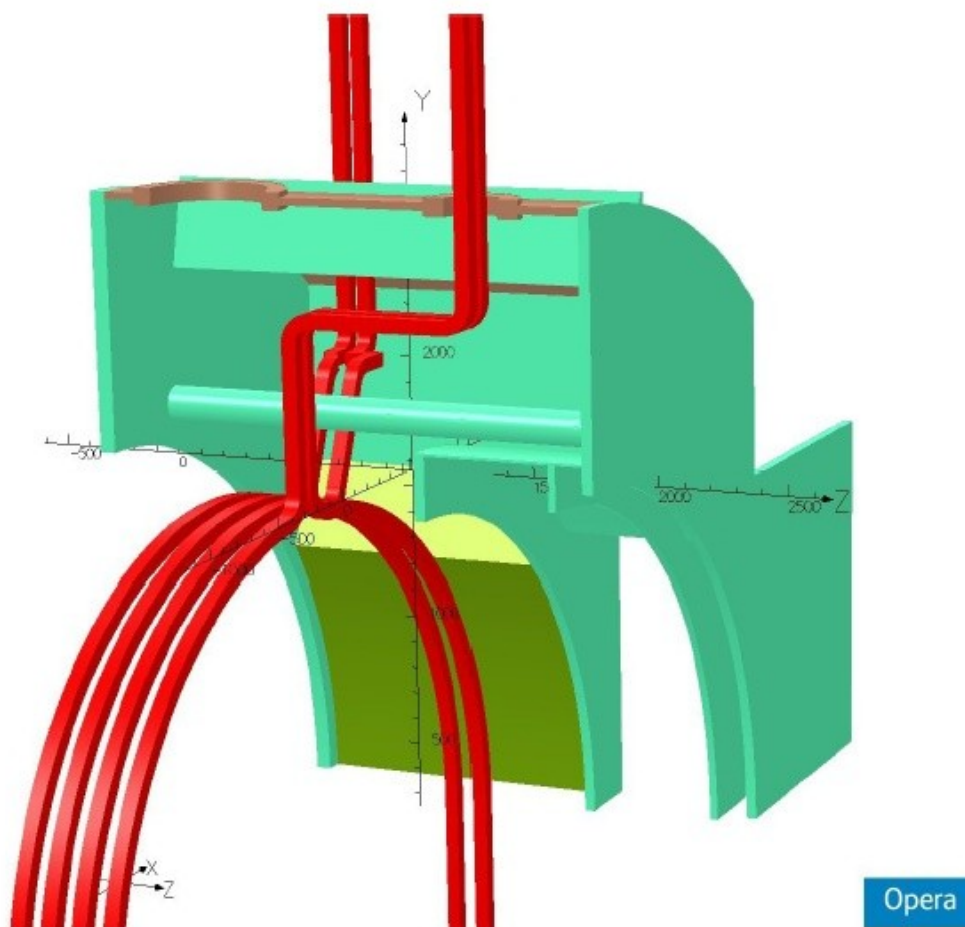
Ztráty v konstrukční vzpěře, stínící trubce a jejich součet pro jednotlivé varianty jsou uvedeny v tabulce 1:

Tab. 1 Výsledky výpočtů na modelech [10]

1000 MW, 24 kV, 26730 A, 50 Hz, $\cos \varphi = 0,9$					
Varianta:		1	2		3
Díl	Konstrukční vzpěra	magnetická	magnetická	magnetická	nemagnetická
(W)	$\Delta P_{\text{vzpěra}}$	8861	994	446	630
Díl	Stínění	Ne	Cu trubka 700 mm	Cu trubka 1000 mm	Ne
(W)	$\Delta P_{\text{stínění}}$	0	499	516	0
(W)	$\Sigma \Delta P$	8861	1493	962	630

Z výsledků modelů je zřejmé, že nejvýhodnějším řešením k odstranění vzniku nadměrného přehřívání konstrukční vzpěry je varianta 3 s nemagnetickou vzpěrou. Tato varianta je dobře realizovatelná v případě nového stroje. V aplikaci na stávající generátor by byla zřejmě nutná demontáž příslušné části kostry stroje, záměna vzpěry a opětovná montáž s přetěsněním a vyzkoušením nového těsnění. Při realizaci této varianty by bylo žádoucí výměna všech konstrukčních vzpěr.

Jako řešení pro stávající stroj byla zvolena a varianta 2 se stínící trubicou délky 1000 mm. Výhoda této varianty je v dobré dostupnosti měděného profilu. [10]



Obr. 9 Základní geometrie modelu konstrukční vzpěry [10]

7.4 Stahovací deska jádra statoru

Stahovací desky byly vyrobeny ze slitiny, jejíž materiálová specifikace odpovídá ČSN 42 2931, a byly odlity závodem ŠKODA Hutě. Vzorky odlitků byly odebrány a zkoušeny v závodě ŠKODA Výzkum. Aktuálně není dostupná dokumentace, která by obsahovala závislost materiálu na teplotě.

Plech, ze kterých je jádro statoru generátoru vyrobeno, jsou oboustranně izolovány vrstvou KERIZOLU. Jedná se o izolační lak typu C5, s tepelnou odolností izolační vrstvy do 850 °C trvale v ochranné atmosféře, za níž lze vodíkovou náplň považovat. Další izolační vrstva byla na pleších vytvořena dvojím oboustranným lakováním izolačním lakem (S 1942), který má tepelnou odolnost 155 °C. Nakonec byla na plechy krajního paketu oboustranně nanесena vrstva

lepícího laku, čímž byla vytvořena kompaktní krajní lepená deska. [10]

Stahovací desky jádra statoru umístěné ve výrobních blocích (HVB I. a HVB II.) ETE se navzájem liší šířkou magnetického bočnicku. Tento magnetický bočník je vyrobený z magnetické oceli slouží k uzavírání rozptylového magnetického toku vznikající ve statorovém vinutí.

Magnetický bočník v generátoru na HVB II. má dostatečnou tloušťku, která zajišťuje dostatečné odstínění stahovací desky. Magnetický tok vznikající rozptylovými proudy ve statorovém vinutí se uzavírá v tomto magnetickém bočniku, který je dostatečně dimenzován na teploty vznikající touto magnetickou indukci a tím chrání stahovací desku a následně statorové plechy před vysokou teplotou.

Konstrukce magnetického bočnicku umístěném v generátoru v HVB I. je odlišná od konstrukce v HVB II. Tento magnetický bočník není tak masivní. To má za následek, že se magnetický tok uzavírá nejen v magnetickém bočniku, ale také ve stahovací desce a způsobuje zvýšené namáhání stahovací desky teplotou, především v podbuzené oblasti. Podrobněji v kapitole 8.1.

Materiálová studie provedená firmou BRUSH stanovila maximální tepelné zatížení stahovací desky na teplotu 250 °C.

7.5 P-Q diagramy

Provozní P-Q diagramy pro $U/U_n=0,95$ a $U/U_n=1,05$ pro $f/f_n=1$ generátoru byly vypočteny konvenční metodou založenou na fázorových diagramech synchronního stroje z podkladů výrobce pro parametry $U/U_n=1$ pro $f/f_n=1$. Tyto diagramy jsou uvedeny v příloze F až J.

Omezení daná statorovým proudem jsou hlídána omezovači statorového a rotorového proudu s charakteristikou, která umožní jejich krátkodobé překročení při potřebě nárazově přibudít. Sestavené P-Q diagramy platí pro ustálené stavy pro provozní napětí sítě v rozvodně Kočín $U_n \pm 5\%$.

Sestavené P-Q diagramy generátorů respektují síť, do které je vyváděn elektrický výkon generátoru, paralelní práci 2 bloků ETE a odběr VS. Blokované vedení 400 kV a blokovaný transformátor jsou nahrazeny jedním Γ článkem (respektují se i příčné magnetické ztráty BT). V diagramech bylo uvažováno s omezeními danými:

- Provozním diagramem vlastního generátoru (od výrobce)
- Statickou stabilitou (úhel mezi vnitřním indukovaným napětím generátoru (U_g))

a pomyslným středem soustavy (U_{sous}) roven 90°), za níž je dlouhodobá práce generátoru nepřipustná. Uvedená podmínka uvažuje vlastnosti buzení a regulace napětí schopné zajistit dočasnou práci generátoru v oblasti umělé stability. Se zvyšujícím se napětím v síti se omezení ze strany statické stability zmenšuje – křivka se méně „ohýbá“ a posouvá se více směrem do podbuzené oblasti.

- Minimálním dovoleným napětím ve vlastní spotřebě (na rozvodnách 6 kV). Toto omezení se týká pracovní oblasti generátoru – menší napětí na jeho svorkách je nepřipustné s ohledem na minimální dovolené napětí v rozvodnách vlastní spotřeby. V diagramech se díky rozsahu regulace na odbočkových transformátorech prakticky neuplatní a se zvětšujícím se napětím v síti se provozní oblasti vzdaluje.
- Maximálním dovoleným napětím $U_m = 420$ kV za blokovým transformátorem (nejvyšší napětí pro zařízení 400 kV dle ČSN 60071-1:2006 (Koordinace izolace), větší napětí na generátoru je z tohoto hlediska po delší dobu nepřipustné). Toto omezení se uplatňuje jen při napětích v síti blízkých hodnotě 420 kV a výrazně zmenšuje přípustnou provozní oblast generátoru. Pro ostatní napětí v síti přesahuje měřítko osy q. [11]

Diagram pokrývá soustava křivek, které znázorňují spojnici pracovních bodů zdánlivého výkonu generátoru. Při pohybu tohoto pracovního bodu po jedné z křivek, zůstávají svorková napětí generátoru (U_g) a napětí v rozvodně Kočín (U_r) konstantní. Napětí U_g jsou volena v rozmezí hodnot 0,9 až 1,1 s krokem 0,25.

Údaj o uvažovaném výkonu turbíny reprezentuje přímka „P_Tur_max“ rovnoběžná s osou q, která prochází bodem $p = 0,976$, což je hodnota 1084 MW. Příkon vlastní spotřeby bloku je uvažován konstantní (45 MW) a rovnoměrně rozložený na všechna sekundární vinutí odbočkových transformátorů. Záporné hodnoty jalového výkonu označují pracovní oblast generátoru v přebuzeném stavu a kladné hodnoty jalového výkonu ve stavu podbuzeném.

Povolené pracovní oblasti jsou vyznačeny zelenou výplní. Hranice přípustné pracovní oblasti generátoru je zleva dána křivkou statické stability a zprava proudem generátoru nebo omezením maximálním dovoleným napětím $U_m = 420$ kV na vývodu blokového transformátoru. [11]

7.6 Statická stabilita

Konvenční výpočtová metoda založená na statickém fázorovém diagramu generátoru dávala velmi přísná omezení z hlediska statické stability. Tato mez při aplikaci na zvýšený výkon generátoru se zakřivila ještě více a téměř vylučovala provoz generátoru v podbuzené oblasti. Z důvodu upřesnění polohy meze statické stability byla provedena analýza chování generátorů při postupném snižování jejich svorkového napětí v simulátoru MOES na dynamickém modelu přenosové soustavy.

Na základě měření napětí sítě v uzlu Kočín zadává ASRU do skupinového regulátoru jalového výkonu na ETE požadovanou změnu dodávaného jalového výkonu. Skupinový regulátor požadavek předá primárnímu regulátoru buzení v budící soupravě generátoru, který požadavek splní změnou jeho buzení. Činný výkon se nastaví výkonovým regulátorem turbíny. Tato regulace se nachází v oblasti P-Q diagramu generátoru.

Významné body z hlediska meze stability jsou zaneseny do P-Q diagramu, příloha K (generátor HVB I.) a příloha L (generátor HVB II.). Na základě toho byly na těchto obrázcích stanoveny dvě principiální meze stability pro pásmo výkonu (50 ÷ 100) %

1. **Mez „A“** pro oblast výchozích napětí v síti 400 kV, kdy se předpokládá funkce ASRU (400 ÷ 420) kV. Mez stability je atakována při snížení napětí v Kočíně na (370 ÷ 380) kV. Tuto mez lze v P-Q diagramu položit na konstrukční mez udanou v P-Q digramu generátoru. Nastavení HMP řízené ASRU by mělo být s odstupem vpravo od meze „A“.
2. **Mez „B“** pro oblast výchozích napětí v síti 400 kV, kdy se neuvažuje funkce ASRU (400 ÷ 420) kV. Mez stability je atakována při snížení napětí v Kočíně na cca (350 ÷ 360) kV. Tato mez je v P-Q diagramu vpravo od meze „A“. Nastavení HMP nepodporované funkcí ASRU by mělo být vpravo od meze „B“.

Ochranu při podbuzení je vhodné nastavit na mez „A“. Toto nastavení vyhovuje i z hlediska ztráty funkce HMP nastaveného dle meze B.

V přebuzené oblasti je základní regulační pásmo pro jalový výkon posuzováno dle KODEXU pro jmenovitý účinník 0,9 a celkový výkon generátoru 1250 MVA.

$$\cos \varphi = 0,9 \Rightarrow \sin \varphi = 0,4359 \quad (\text{v našem případě } 0,436 \text{ v přebuzené oblasti viz obrázek 10})$$

$$Q_{1250} = 1250 \cdot 0,4359 = 545 \text{ MVar} \quad \dots \text{ regulační pásmo } Q \text{ pro zvýšený } S_{ng}$$

Došlo tedy k výraznému rozšíření regulačního pásma jalového výkonu.

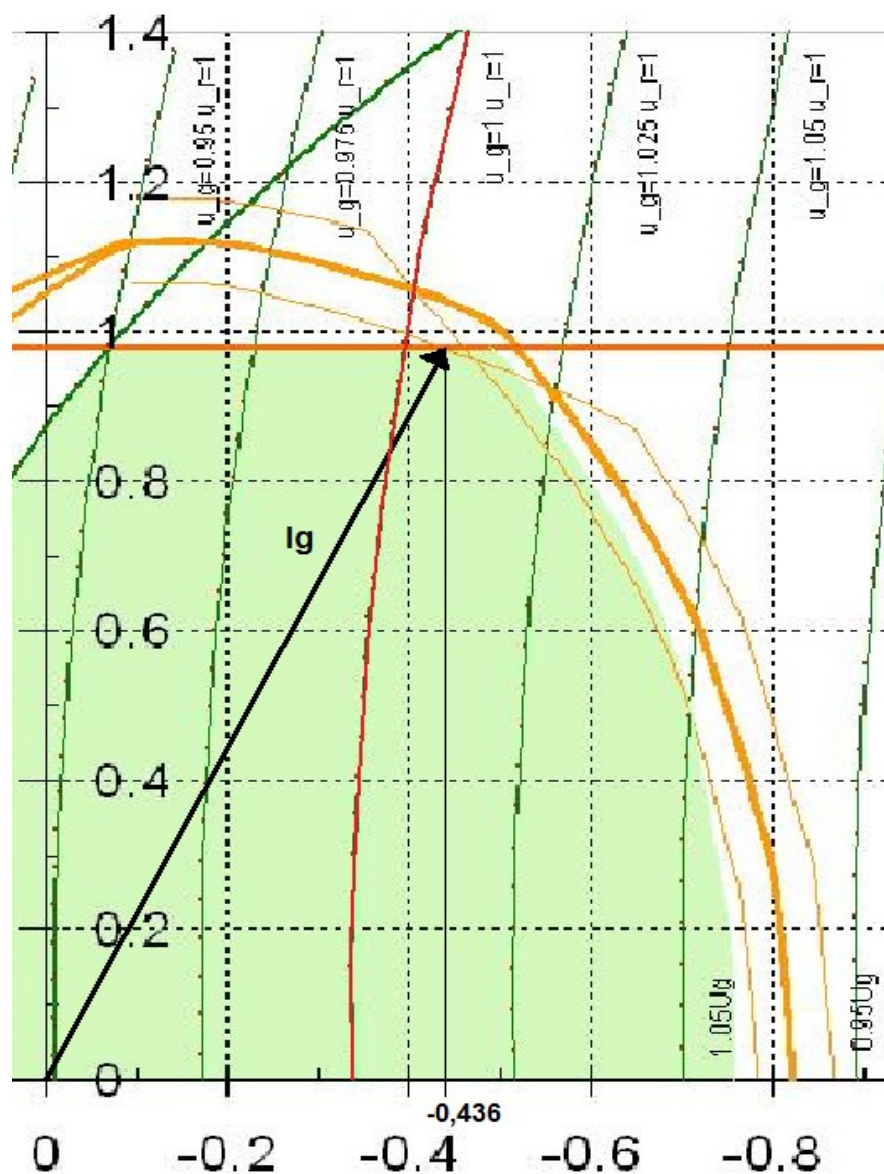
Regulační pásmo s dosažitelným výkonem daným turbínou pro $U_{ng}=24$ kV a při maximálním provozním proudu 29 kA je :

$$Q_{I_{g-max}} = S_g \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U_g \cdot I_g \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot 24 \cdot 29 \cdot 0,4359 = 525,5 \text{ MVar} \quad (1)$$

Situace je ukázána na obrázku 10 pro napětí v Kočíně $U_r=400$ kV , jmenovitý účinník generátoru 0,9 a maximální dosažitelný výkon generátoru daný turbínou 1084 MW. Z obrázku je rovněž vidět, že generátor pracuje s napětím větším než jmenovitým.

Z analýz P-Q diagramů vyplynuly následující závěry se vztahem k plnění požadavků Kodexu PS v ustálených stavech:

- Ve stavech, kdy je v soustavě nižší napětí, je od generátoru požadována dodávka velkého induktivního jalového výkonu. Generátor je v oblasti přebuzení schopen zajistit dodávku jalového výkonu až $0,5 \cdot 1250 \text{ MVA} = 556 \text{ MVar}$ při plném dosažitelném činném výkonu 1084 MW. Při sníženém činném výkonu budou hodnoty jalového výkonu vyšší, viz příloha K a L.
- Při použití adaptabilního hlídače meze podbuzení řízeného z ASRU je možné provozovat generátor v celém pásmu konstrukčních mezí stroje.
- Pro maximální využití možnosti alternátoru pracovat v oblasti blízké stanovené mezi stability je třeba použít dynamický HMP. Nastavení HMP je třeba zkoordinovat s ASRU. [11]



Obr. 10 Meze statické stability v přebuzené oblasti generátoru [11]

7.7 Dynamická stabilita

Zvýšením výkonu bloku se mění i podmínky dynamické stability při zkratech v přenosové soustavě. Setrvačnost soustrojí je po výměně turbíny větší a urychlující moment narůstá. Podmínky pro dynamickou stabilitu se tedy zhoršily.

Výpočet mezního trvání zkratu byl proveden pro generátor $S_n = 1250$ MVA a $P_n = 1110$ MW a ukázal, že dojde ke snížení mezního trvání zkratu na hodnotu 137 ms. Tato hodnota je stále

vyšší než standardní doba vypnutí třífázového zkratu distančními ochranami, která činí 100 ms. Dynamická stabilita je tedy zachována. [11]

7.8 Ochrana proti prokluzu

Ochrany proti prokluzu pracují na obou blocích ETE na impedančním principu. Vyhodnocují impedance viděné na svorkách generátoru.

Z analýzy provedené na síťovém simulátoru MODES vyplývá, že většina výpočtových případů má charakter $U_g / U_n < 1$, prokluzy probíhají spíše impedancí generátoru, síť má napětíovou převahu.

Testování generátoru ověřilo analýzy simulátoru. V případě prokluzu je vhodné odpojit generátor od sítě v místě generátorového vypínače a vlastní spotřebu řešit napájením 400 kV z rozvodny Kočín.

Z výše uvedeného byla přenastavena a upravena ochrana F455. Aktivace zóny 1 (impedance ve zpětném směru) od $\frac{Z_{bt}}{2}$ směrem do generátoru a posunuta její mez na $0,75 \cdot Z_{bt}$. Zóna 2 (impedance v dopředném směru – do sítě) byla vyřazena z působení na vypnutí. [11]

7.9 Zkratové proudy

Základní parametry pro výpočet zkratových proudů jsou uvedeny v tabulce 2:

Tab. 2 Vstupní parametry zařízení [11]

Vybrané parametry základních zařízení		
Blokový transformátor	S_n (MVA)	3x400
	U_1/U_2 (kV/kV)	420/24
	P_k (kW)	3x750
	u_k (-)	0,14
Generátor	S_n (MVA)	1250
	U_n (kV)	24
	$\cos \varphi$ (-)	0,9
	p_G (-) regulační rozsah napětí	$\pm 0,05$
	$x d'_{\text{sat}}$ (-)	0,281
	$x d'_{\text{sat}}$ (-)	0,405

Výpočet maximálních trojfázových zkratových proudů byl proveden v oblasti ZV 24 kV vyvedení výkonu generátoru. Na svorky blokového transformátoru na straně vyššího napětí je připojena síť 400 kV se zkratovým proudem $I_{k \text{ „3max“}} = 50 \text{ kA}$ (zkratová odolnost rozvodny 400kV).

Ve výpočtovém schématu s reálnými parametry ($\frac{R}{X}$) blokového transformátoru elektrárny a

s doporučenými hodnotami $\frac{R}{X}$ sítě (ČSN EN 60909 použita $\frac{R}{X}=0,1$) vychází hodnota

$T_a = 102 \text{ ms}$. Aby bylo dosaženo přísnější hodnoty $T_a = 133 \text{ ms}$ požadované normou pro generátorové vypínače (IEEE Std C37.013-1997), bylo nutné při zachování reálných hodnot blokového transformátoru změnit poměr $\frac{R}{X}$ sítě na $\frac{R}{X}=0,02$.

Pro výpočet maximálních zkratových proudů byl použit program NEPLAN. V programu je namodelován blok ETE. Byly propočteny 2 varianty:

- Výpočet podle ČSN EN 60909-0; $T_a = 102 \text{ ms}$ (příspěvek sítě ke zkratu na 24 kV)

- Výpočet podle ČSN EN 60909-0 s nalaďením modelu podle IEEE;
 $T_a = 133 \text{ ms}$

Výsledky výpočtu zkratových proudů jsou uvedeny v následujících dvou tabulkách.

Tab. 3 Varianta 1 [11]

Varianta	ČSN EN 60909-0, $T_a = 102 \text{ ms}$					
Generátor	Stávající (1111 MVA)			Přetypovaný (1250 MVA)		
Příspěvek	síť	VS ETE	generátor	síť	VS ETE	generátor
$I_{k3''\max} \text{ (kA)}$	182,0	10,4	124,3	182,0	10,4	126,0
$I_p \text{ (kA)}$	486,0	27,8	332,0	486,0	27,8	336,3
$I_{b \text{ } t=0,05s} \text{ (kA)}$	182,0	8,1	104,0	182,0	8,1	107,7
$I_{DC} \text{ (kA)}$	136,1	7,9	93,0	136,0	7,9	94,1
$I_{th \text{ } t=0,2s} \text{ (kA)}$	216,6	7,7	148,0	216,6	7,7	149,9

Tab. 4 Varianta 2 [11]

Varianta	ČSN EN 60909-0, nalaďená dle IEEE na $T_a = 133 \text{ ms}$					
Generátor	Stávající (1111MVA)			Přetypovaný (1250MVA)		
Příspěvek	síť	VS ETE	generátor	síť	VS ETE	generátor
$I_{k3''\max} \text{ (kA)}$	182,0	10,4	124,3	182,0	10,4	126,0
$I_p \text{ (kA)}$	491,8	28,1	336,2	491,8	28,1	340,5
$I_{b \text{ } t=0,05s} \text{ (kA)}$	182,0	8,1	104,0	182,0	8,1	107,7
$I_{DC} \text{ (kA)}$	157,0	9,0	107,3	156,8	9,0	108,6
$I_{th \text{ } t=0,2s} \text{ (kA)}$	224,8	8,4	153,7	224,8	8,4	155,7

Z výsledků je patrné, že model s časovou konstantou $T_a = 133 \text{ ms}$ (podle IEEE) je z hlediska proudů více konzervativní (příspěvky sítě I_p , I_{DC} ke zkratu na 24 kV jsou vyšší).

Suma příspěvků ze sítě a VS je větší než příspěvek generátoru. Generátorový vypínač je po zvýšení výkonu bloku elektrárny Temelín při zkratu mezi generátorem a jeho vypínačem namáhán zkratovými proudy, viz následující tabulka 5:

Tab. 5 Příspěvky zkratových proudů [11]

Suma příspěvků sítě a VS		
Varianta	ČSN $T_a = 102 \text{ ms}$	IEEE $T_a = 133 \text{ ms}$
$I_{k3''\max}$ (kA)	192,4	192,4
I_p (kA)	513,8	519,9
$I_{b \text{ } t=0,05s}$ (kA)	190,1	190,1
I_{DC} (kA)	143,9	165,8
$I_{th \text{ } t=0,2s}$ (kA)	224,3	233,2

Hodnoty proudů podle varianty 1 slouží pro kontrolu dimenzování zařízení dle ČSN EN – zapouzdřené vodiče, přístrojové transformátory atd.

Hodnoty proudů podle varianty 2 slouží pro kontrolu základních parametrů generátorového vypínače. Vypočtené hodnoty leží pod jmenovitými parametry generátorového vypínače. [11]

7.10 Budicí soustava

Statická budicí souprava

Stávající statická budicí souprava má dostatečné parametry pro provoz generátoru na výkonu 1250 MVA, 1125 MW včetně provozu při standardních odchylkách napětí a frekvence. Mezní parametry budicí soupravy, tabulka 6, které nesmí být překročeny:

Tab. 6 Mezní parametry budicí soupravy [10]

	Trvale	Nárazově
Budicí proud	7800 A	11750 A / 10 s
Budicí napětí	550 V	835 V

Pomocný generátor pro buzení – budič

Pomocný generátor pro napájení statické budicí soupravy je dostatečně dimenzován pro buzení generátoru při zvýšeném výkonu. [10]

Sběrné zařízení generátoru

Sběrné zařízení generátoru je možné osadit maximálně 80 kartáči velikosti (32x32) mm na polaritu. Maximální budící proud, který je možné přenést přes sběrné zařízení je 8200 A, při proudovém zatížení kartáčů proudovou hustotou 10 A/cm². [10]

Chladiče vodíku

Chladiče vodíku odvádějí ztráty zvýšené o přírůstek ztrát v budícím vinutí a o přírůstek přídavných ztrát v konstrukčních částech generátoru. To se projevuje zvýšením teploty studeného vodíku na vstupu do generátoru o 3 K. [10]

Chladiče primární chladicí vody statorového vinutí

Chladiče primární chladicí vody statorového vinutí odvádějí ztráty zvýšené o kvadrát zvýšení statorového proudu. To způsobuje nárůst teploty studené primární vody na vstupu do vinutí o 2 K.

Původní chladiče primární statorové vody měly dlouhé trubky náchylné na vibrace. Tyto chladiče byly v roce 2010 na obou blocích nahrazeny moderními deskovými chladiči, které mají větší účinnost a delší životnost. Tyto nové chladiče mají dostatečné parametry pro odvádění ztrát statorového vinutí při zvýšeném výkonu. [10]

Chladiče vzduchu pro pomocný generátor pro buzení

Chladiče vzduchu pro pomocný generátor pro buzení odvádějí ztráty zvýšené v poměru zvýšení výkonu pomocného generátoru pro buzení. To se projevuje zvýšením teploty studeného vzduchu na vstupu do pomocného generátoru o 1 K. [10]

Chlazení průchodky

Chlazení nulové spojky a fázových vývodů je zajištěno primární vodou z chladičů voda-voda. Tyto okruhy jsou odděleny mezi sebou i od statorového vinutí. Teplota vystupující z nulových spojek i z fázových vývodů je nižší než teplota vystupující ze statorového vinutí. [10]

Klimatizace místnosti budící soupravy

Se zvýšením výkonu generátoru vzrostla i tepelná zátěž prostoru skříní buzení generátoru.

Vydělené teplo dosahovalo 98 kW. Po záměně skříní pokleslo toto teplo na 86 kW, ale při zvýšení výkonu opětovně vzrostlo na 100 kW a s rezervou chlazení 15 % na 115 kW. Teplotu okolí rozvaděčů je nutno udržovat v rozmezí (+5 ÷ +35) °C. To vedlo k rozhodnutí k instalaci nuceného strojního chlazení větracího vzduchu. [10]

7.11 Porovnání parametrů generátoru

Porovnání parametrů původního generátoru s přetypovaným generátorem je uvedeno v tabulce 7:

Tab. 7 Porovnání parametrů generátoru [10]

Parametr	Původní stav	Zvýšený výkon
Jmenovitý zdánlivý výkon (MVA)	1111	1250
Účíník (-)	0,9	0,9
Jmenovití napětí (kV)	24	24
Jmenovitý proud (A)	26730	30070
Jmenovitá frekvence (Hz)	50	50
Dovolená odchylka napětí (%)	±5	± 5
Dovolená odchylka frekvence (%)	+2, -3	+2, -3
Synchronní reaktance (sat.) (%)	280	277
Přechodová reaktance (sat.) (%)	36	38,5
Rázová reaktance (sat.) (%)	25	31,4
Budící napětí (V)	470	532
Budící proud (A)	6666	7416

7.12 Nulová spojka

Během provozu elektrárny byly na zapouzdření generátorového vývodu, nulové spojce, provedeny různé úpravy na snížení teploty šroubových spojů. Zkušební termovizní měření v roce 2009 ukázalo maximální teplotu pouzdra 128 °C při teplotě okolí 40 °C.

Pro další snížení oteplení nulové spojky byly realizovány následující úpravy:

- Demontáž nástavců pro připojení k přírubám generátoru a demontáž gumových U – kompenzátorů.
- Nahrazení stávajících rozdělených krytů nulové spojky nedělitelným krytem

s montážními otvory.

- Odstranění zkratovací desky na nulové spojce k odstranění uzavíraných závitů nakrátko.
- Vrchlík nulové spojky byl osazen ventilačními otvory s ochranou proti prachu.
- Celkové zapouzďení bylo připraveno na napojení nuceného chlazení. [08]

7.13 Fázové vývody

Připojení fázových vývodů generátoru bylo řešeno pomocí 40 ks. měděných dracounových spojek na jednu fázi. Tyto spojky byly nahrazeny lamelovými měděnými pocínovanými spojkami ve stejném poměru (40 ks./1 fázi) o rozměru 38x25x650 mm. Proudová hustota v průřezu spojky je 0,83 A/mm² a v kontaktní ploše 0,068 A/mm².

Dále byly vyměněny:

- Dělené hliníkové kryty za kryty s průhledy pro termovizní měření
- Ventilátory a upraveno připojení chladicího okruhu
- Kompenzační desky mezi skříněmi, nahrazení jedné za více propojující vždy jen dvě fáze
- Připojovací kontaktní vodiče
- Pryžové nástavce a těsnění [08]

7.14 Připojení transformátorů vlastní spotřeby

Vodiče pro připojení odbočkových transformátorů jsou dimenzovány na zkratové poměry soustavy. Z hlediska teplotního zatížení jsou tedy předimenzovány. [08]

7.15 Zapouzďené vodiče 24 kV

Zapouzďené vodiče jsou rozděleny do tří částí:

Chlazené nucenou ventilací

Kontrolním měřením byla zjištěna maximální teplota pouzdra 60,7 °C pod zkratovacími deskami. Zvýšený proud 30070 A nezvýší teplotu nad povolenou hodnotu. [08]

Chlazené nuceným průtokem vodou

Celková délka těchto vodičů je 234 m. Chladicí voda protéká chladicími kanálky rozmístěné podélně na obvodu pouzdra po 120°. Do provozu se uvádí při dosažení teploty pouzdra 50 °C. Dle kontrolního výpočtu je schopno stávající uspořádání přenést maximální proud 30200 A při dodržení požadavku maximální teploty pouzdra 65 °C, respektive 90 °C pro vodič. [08]

Přirozeně chlazené

Tyto vodiče dle kontrolního výpočtu jsou schopny přenést proud 30070 A bez úprav. [08]

7.16 Generátorový vypínač

Firma ABB provedla kontrolní přepočty stávajícího generátorového vypínače na interval proudů 28000 A až 30070 A. Výsledky zapínací a vypínací schopnosti jsou uvedeny v tabulce.8:

Tab. 8 Výsledky zapínací a vypínací schopnosti generátorového vypínače [08]

	Příspěvek ze sítě	Příspěvek z generátoru		Parametry vypínače	
Nárazový zkratový proud I_p (kA)	520	Původní	336,2	I_{zap}	540
		Nový	340,5		
Vypínací proud (50 ms) I_b (kA)	190,1	Původní	107,3	$I_{vyp\ sym}$	200
		Nový	118,6		

Příspěvek zkratového proudu ze sítě se při zvýšeném výkonu bloku nezměnil, protože impedance blokového transformátoru zůstala stejná. Vyšší nabuzení generátoru zvyšuje zkratový proud generátoru. Hodnoty obou příspěvků jsou pod udanými parametry vypínače, tedy zapínací i vypínací schopnost vyhovuje.

Pro zvýšení proudové zatížitelnosti stávajícího generátorového vypínače typu DR 36 v 1750 D bylo třeba zvýšit výkon chladicího agregátu tak, aby mohl výkonový generátorový vypínač spolehlivě převádět trvalý proud 30070 A. Parametry stávajícího chladicího agregátu a minimální požadavky na chlazení jsou uvedeny v tabulce 9

Tab. 9 Parametry stávajícího chladicího agregátu a jeho změny [08]

	stávající chladicí agregát	minimální požadavky na chlazení GV
Chladicí výkon	49 kW	56 kW
Výkon elektromotoru	2,2 kW	-
Chladicí systém sladké vody:		
Průtočné množství vody	8,5 m³/h	9,7 m³/h
Teplota vody na vstupu	40 °C	
Chladicí systém výkonového vypínače:		
Průtočné množství vody v aktivních částech	60 l/min	69 l/min
Průtočné množství vody v krytu	15 l/min	18 l/min
Teplota vody na vstupu	45 °C	

Na základě těchto podmínek provozování generátorového vypínače byla realizována úprava chlazení GV na systém se dvěma čerpadly 100 + 100 % na průtočné množství okruhem k vypínači, pokrývající zvýšené oteplení způsobené vyšší hodnotou protékajícího proudu. [08]

7.17 Přístrojové transformátory proudu

Přístrojové transformátory proudu instalované v uzlu generátoru mají převod 27000 A / 5 A. Maximální dovolený proud na vstupu dle ČSN 36 1360/1974 je 120 %. To znamená, že maximální vstupní proud je 32400 A. To tohoto proudu je zajištěna tepelná odolnost i přesnost transformátoru. Nová maximální proud generátoru je 30070 A. Transformátory jsou zatíženy na 111 %. Maximální reálný provozní proud generátoru je 29000 A. Přístrojové transformátory jsou využity na 108 %. [08]

7.18 Blokový transformátor

Ze statické a dynamické stability generátoru, a z výpočtů zkratových proudů byl stanoven dosažitelný činný výkon na svorkách generátoru $P = 1084$ MW při konzervativně uvažovaném účinníku $\cos\varphi = 0,9$.

Celkový jmenovitý výkon blokového transformátoru	$S_{nBT} = 1200 \text{ MVA}$
Jmenovitý výkon generátoru	$S_n = 1250 \text{ MVA}$
Měřený příkon vlastní spotřeby jednoho bloku	$P_{VS} = 45 \text{ MW}, S_{VS} = 55 \text{ MVA}$

Maximální provozní zatížení blokového transformátoru se snižuje o příkon vlastní spotřeby. Můžeme tedy počítat na základě reálného výkonového využití blokového transformátoru, poměrů v přenosové soustavě a odběru vlastní spotřeby bloku:

$$S_{\text{prov}} = \frac{1084}{0,9} - 55 = 1150 \text{ MVA} \quad (2)$$

Z porovnání hodnot S_{nBT} a S_{prov} vidíme, že maximální zatížení blokového transformátoru leží na 96 % jeho jmenovitého výkonu.

V případě dalšího zvýšení výkonu bloku je v blokovém transformátoru k dispozici výkonná rezerva. Tuto rezervu můžeme určit z předpokladu, že zatížení blokového transformátoru bude přibližně 100 %, tedy $S_{\text{prov}} \approx S_{nBT}$. To odpovídá maximálnímu činnému výkonu na svorkách generátoru $P_g = 1125 \text{ MW}$.

$$S_{\text{prov}} = \frac{1125}{0,9} - 55 = 1195 \text{ MVA} \quad (3)$$

Blokový transformátor je tedy dostatečně dimenzován i na provoz bloku při výkonu generátoru 1250 MVA. Dlouhodobý provoz na tomto výkonu se z hlediska jalového výkonu nepředpokládá, jedná se o provoz v přebuzení oblasti.

Vyšší výkonové využití blokového transformátoru znamená i nárůst ztrát výkonu. Činné ztráty v transformátoru narostou přibližně o 315 kW, tedy o 15 % a činí tak 0,23 % výkonu transformátoru. [12]

7.19 Vyvedení výkonu ETE – Kočín

Vyvedení výkonu elektrárny Temelín je řešeno pro každý blok samostatně. Výkon bloku je po transformaci blokovým transformátorem 1200 MVA, 420 / 24 kV vyveden jedním jednoduchým vedením 400 kV do rozvodny 400 kV Kočín.

Rozvodna Kočín je dvousystémová rozvodna 400 kV s pomocnou přípojnici. Výkon bloků je vyveden do části linky směřující do rozvodny 400 kV Chodov, Přestice, Dasný a Řeporyje

v zapojení $\frac{3}{4}$ vypínače na odbočku. Rozvodna Kočín je na přenosovou soustavu napojena pěti vedeními 3x3 AlFe 450/52.

Maximální provozní proud vyvedení výkonu vychází z jmenovitého výkonu blokového transformátoru a napětí v síti 400 kV – 95 % U_n :

$$I_{\text{prov}} = \frac{1200 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 10^3} = 1800 \text{ A} \quad (4)$$

Na přenosové cestě elektrárna – rozvodna 400 kV nejsou zařazeny žádné přístroje. Blokovaná linka má parametry 3x3 AlFe 450/52 a je uložena na stožárech typu DELTA. Proudová zatížitelnost lan je 2500 A.

Parametry blokových vypínačů, umístěných v rozvodně 400 kV Kočín, jsou:

vypínače: $I_n=3150 \text{ A}$ a odpojovače: $I_n=3150 \text{ A}$

Zvýšení výkonu nemá žádný vliv na velikost zkratů v síti 400 kV a proudové dimenzování přenosové cesty vyvedení zvýšeného výkonu je dostatečně velké. [13]

8 Provoz se zvýšeným výkonem

8.1 Oteplení stahovací desky

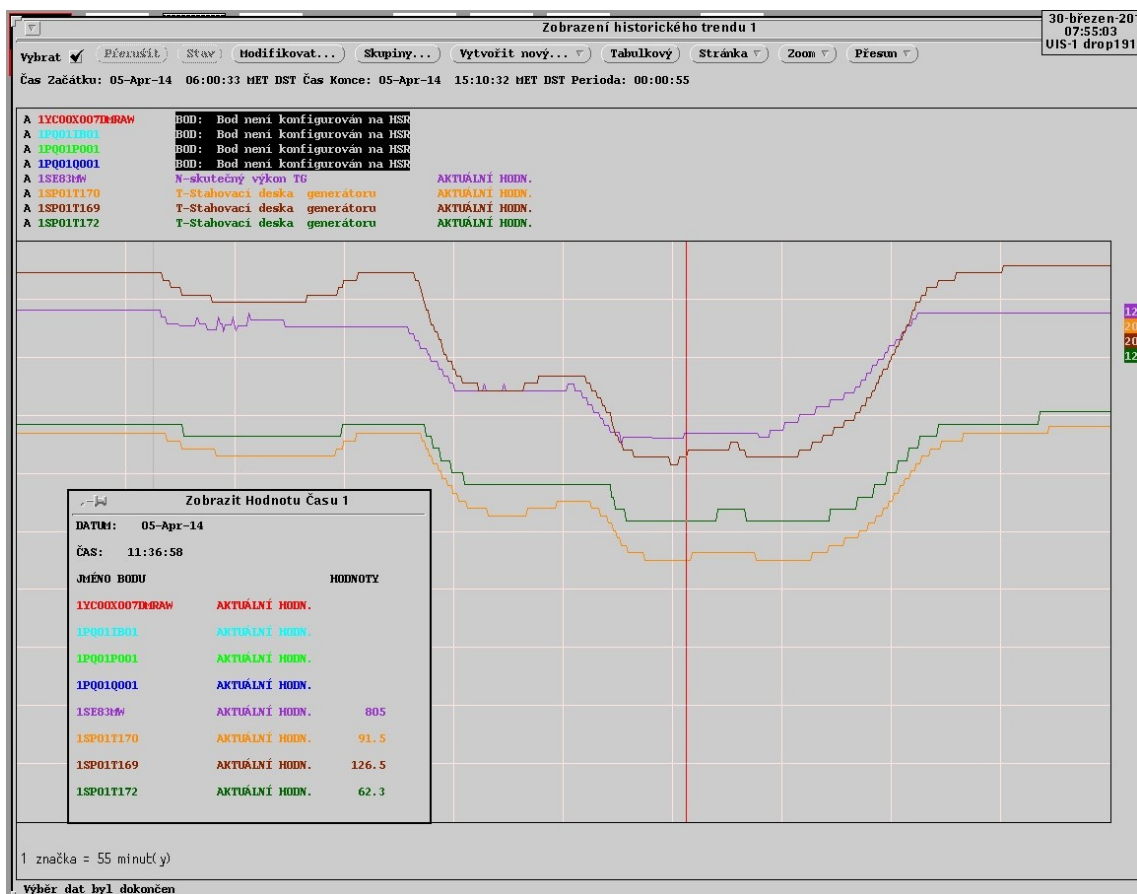
Provoz generátoru je v podbuzené oblasti provozního diagramu omezen mezi statické stability a teplotou stahovací desky statorového vinutí. Na základě přesného zjištění mezí v provozním diagramu bylo 5.4.2014 provedeno měření oteplení stahovací desky na HVB I.

Měřilo se ve třech hladinách činného výkonu (1032 MW, 900 MW a 800 MW). Zatížení jalovým výkonem bylo na hranici nastavení hlídače meze podbuzení a systému automatické regulace napětí. Teplotní čidla byla umístěna na stahovací desku dle obrázku 13. Naměřené teploty stahovací desky jsou uvedeny v tabulce 10. Oteplení stahovací desky v závislosti na činném výkonu generátoru lze zobrazit vybráním příslušných dat z Historického serveru, kam se ukládají vybraná data z provozu bloku, obrázek 11.

Pro lepší zobrazení závislosti oteplení stahovací desky na výkonu generátoru jsem z dat vyexportovaných z Historického serveru pro teplotní čidla T169, T170 a činný výkon generátoru vytvořil graf, do kterého jsem přidal velikost naměřeného jalového proudu uvedeného v tabulce 10. Na tomto grafu, obrázek 12, vidíme nárůst teploty stahovací desky při zvýšení jalového výkonu generátoru.

Tab. 10 Tabulka měření teploty stahovací desky

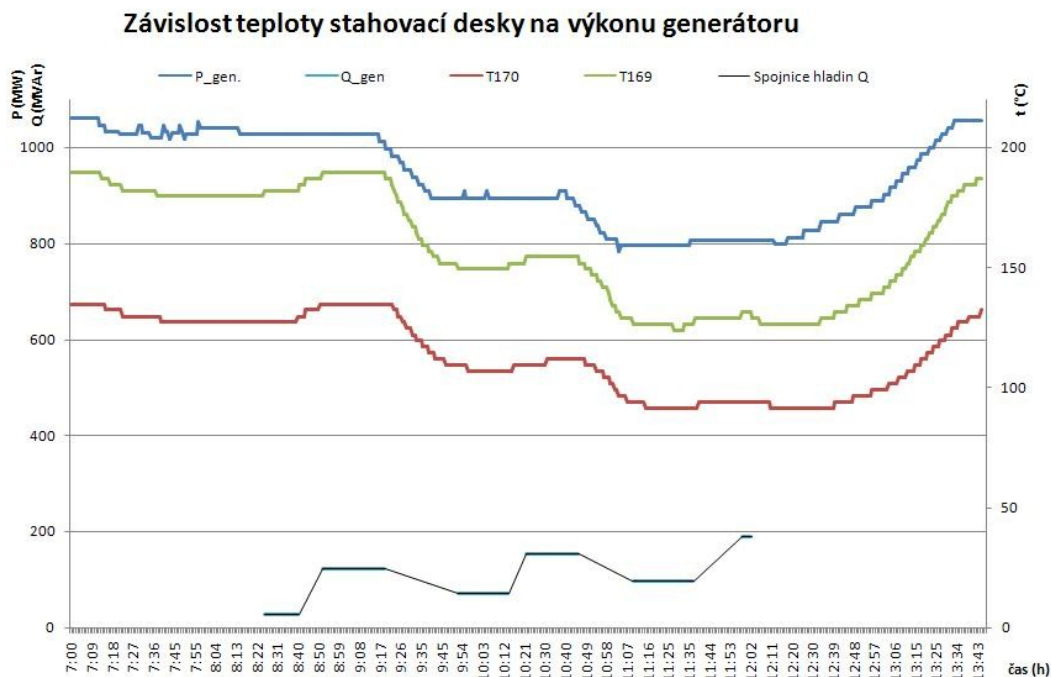
Měření	Čas		8:33	9:10	10:06	10:38	11:26	11:58
Provozní stav	Činný výkon	(MW)	1032	1035	895	904	800	797
	Jalový výkon	(MVA)	28	122	72	153	97	190
Teplota vodíku za chladičem	T017	(°C)	33	33	32	32	31	32
	T018	(°C)	32	32	31	31	31	31
	T021	(°C)	33	33	32	32	32	32
	T022	(°C)	33	33	32	32	32	32
Teplota a oteplení stahovací desky	T169	(°C)	182,1	190,9	147,6	154,6	124	131,6
		(K)	149,35	158,15	115,85	122,85	92,5	99,85
	T170	(°C)	129,1	176,4	105,8	111,6	90,1	90,1
		(K)	96,35	143,65	74,05	79,85	58,6	58,35



Obr. 11 Trend průběhu oteplení stahovací desky z Historického serveru

Na základě vyhodnocení oteplení stahovací desky byl pro generátor zpracován nový provozní digram (viz příloha M). Mezní provozní stavy generátoru v podbuzené oblasti jsou omezeny teplotou stahovacích desek jádra statoru. Základní režim provozu v podbuzené oblasti je omezen nastavením hlídače meze podbuzení. V tomto režimu je možné na hladině činného výkonu 1084 MW ze sítě odebírat jalový výkon maximálně 28 MVA. Teplota stahovací desky byla na čidle T169 odhadnuta na 207 °C a na čidle T170 na 146 °C.

Provoz v režimu automatické regulace napětí umožňuje rozšíření provozu generátoru v podbuzené oblasti až ke hranici statické stability energetického systému. Na hladině činného výkonu 1084 MW je za mez považován odběr 118 MVar ze sítě. Teplota stahovací desky měřená na čidle T169 byla odhadnuta na 215 °C a na čidle T170 na 151 °C.

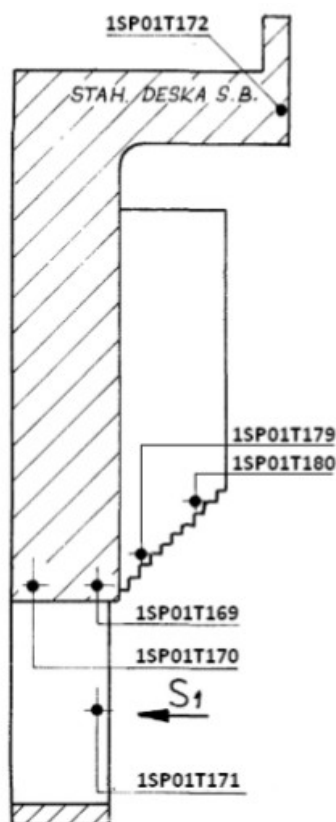


Obr. 12 Graf závislosti oteplení stahovací desky na výkonu generátoru

Stabilita mechanických vlastností materiálu stahovací desky v závislosti na teplotě byla také posuzována. Teploty stahovací desky v místě čidla $T169 = 215\text{ °C}$ a v místě čidla $T170 = 151\text{ °C}$ jsou považovány za bezpečné z hlediska trvalého provozu, jak z pohledu stability mechanických vlastností materiálu stahovací desky, tak z pohledu stability izolačních vlastností laku Kerizol použitého mezi plechy krajního paketu jádra satoru.

Provoz generátoru v podbuzené oblasti provozního diagramu, ve kterém je dosahováno maximálních teplot na stahovací desce je občasný nikoliv trvalý. Jednotlivé nájezdy do podbuzené oblasti však mohou trvat i desítky hodin.

Měření oteplení stahovací desky na druhém výrobním bloku bude provedeno při najíždění bloku po plánované odstávce v červnu 2015.



Obr. 13 Umístění čidel měření teploty na stahovací desce jádra statoru a magnetickém stínícím bočníku

8.2 Vibrace čela statorového vinutí generátoru

Na základě přesného zjištění velikosti vibrací čela statorového vinutí bylo dne 24.9.2013 provedeno měření na všech snímačích umístěných na generátoru HVB I. Kritériem měření vibrací pro složku 50 Hz byla použita mezní hodnota efektivní rychlosti vibrací 20 mm/s a pro složku 100 Hz mezní hodnota efektivní rychlosti vibrací 25 mm/s.

Parametry generátoru v průběhu měření jsou uvedeny v tabulce 11:

Tab. 11 Parametry generátoru při měření vibrací čela statorového vinutí

Parametry generátoru dne 24. 9. 2013, 11:15 – 11:35			
Fázový proud statoru	L1	L2	L3
	25,9kA	25,8 kA	25,7 kA
Sdružené napětí statoru	L12	L23	L31
	23,8 kV	23,8 kV	24,0 kV
Činný výkon generátoru	1059 MW		
Účinník	L1	L2	L3
	0,995	0,992	0,992
Frekvence z L1	50,0 Hz		
Budicí proud generátoru I_b	5,64 kA		
Budicí napětí generátoru – přímé měření na kroužcích U_b	370,0 V		

Měřilo se pomocí měřicí aparatury ADRE 408 DSPi. Dané svorky byly odpojeny a vzápětí po měření opět připojeny zpět. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze N.

Maximální vibrace u složky 100 Hz byly naměřeny na konektoru č. 23 a dosáhly hodnoty 12,92 mm/s. U složky 50 Hz dosáhly maximální vibrace hodnoty 3,44 mm/s na konektoru č. 25.

Dle výsledků měření nebyly zjištěny žádné odchylky, které by překračovaly limity a omezovaly by bezpečný provoz generátoru.

Z hlediska zvýšeného výkonu generátoru se doporučuje sledovat trend vibrací čel vinutí v závislosti na proudu generátoru, především v podbuzeném režimu.

8.3 Blokový transformátor

Pro srovnání a predikci chování blokového transformátoru na nové zvýšené výkonové hladině byly provedeny ve dnech 18.6.2013 a 24.9.2013 zkoušky, při kterých byly monitorovány vybrané parametry jednotlivých blokových transformátorů před a po zvýšení výkonu bloku. Měřilo se rozložení teploty olejové náplně, teplota povrchu transformátorových jednotek, proud, napětí a výkon na obou stranách transformátoru, obsah vody a množství plynů rozpuštěných v oleji, teplota vinutí.

Maximální teplota vinutí transformátorových jednotek by neměla překročit teplotu 98 °C, při které je rychlost stárnutí neupravené papírové izolace vinutí transformátorů rovna 1,0. Hodnota vody a rozpuštěných plynů nesmí překročit hodnoty uvedené v tabulce 12.

Tab. 12 Mezní hodnoty plynů rozpuštěných v olejové náplni transformátoru

Plyn, voda	Chemická značka	Hodnoty dle CEI IEC 60559 (ppm)
Vodík	H ₂	(60 ÷ 150)
Oxid uhelnatý	CO	(540 ÷ 900)
Oxid uhličitý	CO ₂	(5100 ÷ 13000)
Metan	CH ₄	(40 ÷ 110)
Etan	C ₂ H ₆	(50 ÷ 90)
Etylen	C ₂ H ₄	(60 ÷ 280)
Acetylen	C ₂ H ₂	(3 ÷ 50)
Voda	H ₂ O	(10 ÷ 25)

Tabulka naměřených hodnot je uvedena v příloze O.

Maximální teplota při měření na původní hladině výkonu transformátorových jednotek s označením 2AT1, 2, 3 a 1AT1, 3 nepřekročila stanovenou hodnotu 98 °C. U transformátorové jednotky 1AT2 dosáhla maximální teplota 98 °C.

Maximální teplota vinutí transformátorových jednotek byla počítána modulem TRAMON CORE, který je součástí monitorovacího systému transformátorů. Výpočet byl prováděn mj. i z hodnot předávaných odporovými teploměry, které jsou umístěny na povrchu transformátorových jednotek a zakryty proti vnějším vlivům venkovního prostředí schváleným izolačním materiálem. I přes zakrytí izolačním materiálem došlo u teploměrů, které jsou vystaveny přímému slunečnímu svitu, k významnému ovlivnění měření působením slunečního záření, které se promítlo vyšší hodnotou do výpočtu. V den měření byl jasný slunečný den a venkovní teplota v okolí transformátorových jednotek dosáhla hodnoty 32°C. Při provádění odečtů maximálních teplot vinutí transformátorových jednotek během následujících etap bude vhodné tato měření realizovat za venkovních podmínek, které vyloučí vliv slunečního svitu na hodnoty měřených teplot. Zjištěná výše popsaná anomálie nebrání zvýšení výkonu.

U měření na zvýšené hladině výkonu nepřekročila maximální teplota jednotlivých

transformátorových jednotek u obou bloků hodnotu 98 °C. Hodnoty vody a plynů rozpuštěných v oleji u obou měření nepřekročily hodnoty udávané v tabulce 12

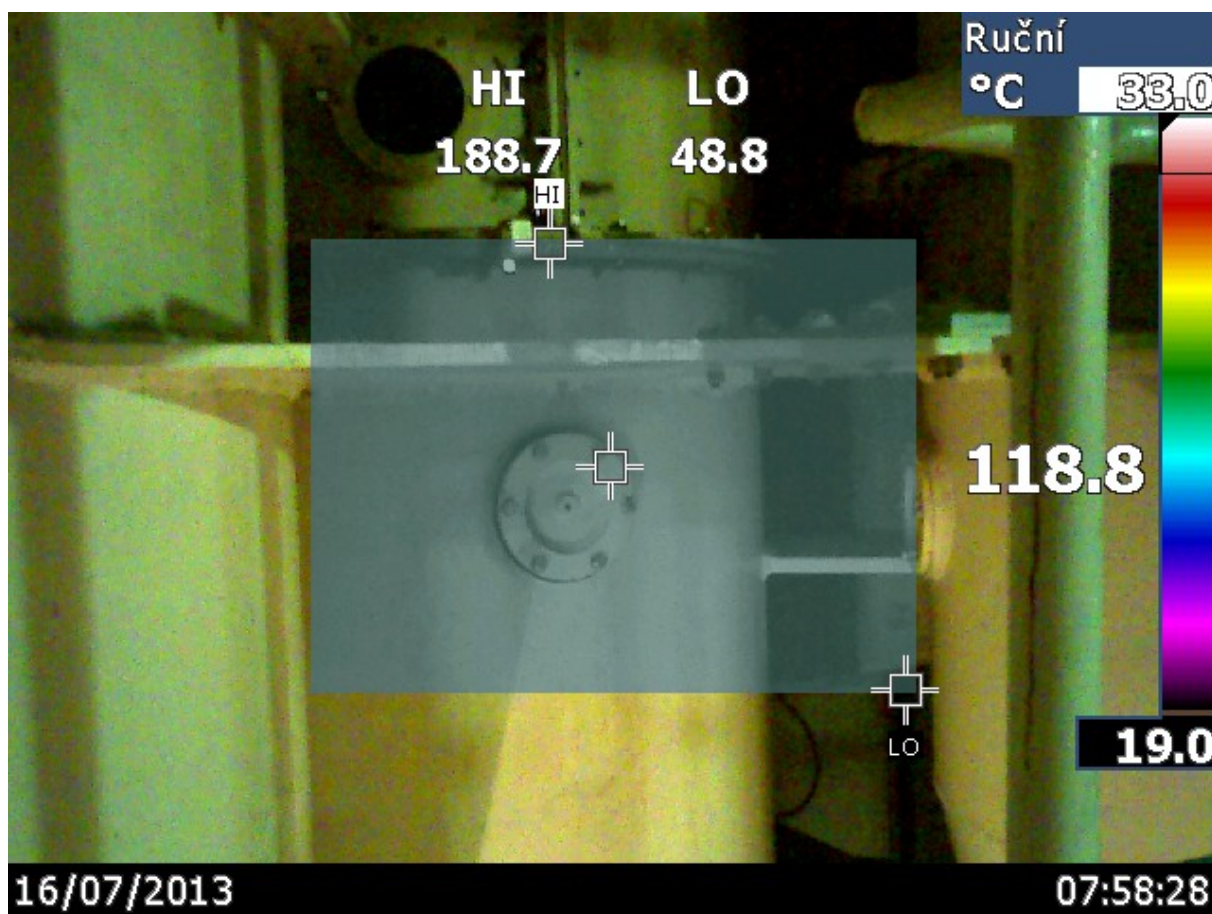
Z porovnání měření s projektovými parametry vyplývá, že nebyly zjištěny žádné odchylky, které by omezovaly bezpečný provoz na novém zvýšeném nominálním výkonu.

8.4 Zapouzdřené vodiče

Zapouzdřené vodiče vyvedení výkonu v některých místech převyšují svým oteplením na nominálním výkonu maxima stanovená normami ČSN, které dovolují maximální teplotu 80 °C pro přístupné části bez nutného dotyku a 105 °C pro postříbřené šroubové spoje. Tato skutečnost trvá od počátku provozování ETE (od roku 2000).

Teplo v zapouzdření vzniká indukci silného elektromagnetického pole kolem proudovodičů vyvedení výkonu do hliníkového zapouzdření a v důsledku existence tzv. kompenzační desky, které uvádí všechny tři ZV jednotlivých fází na společný potenciál. Z důvodu různých potenciálů na povrchu zapouzdření tečou zapouzdřením a kompenzační deskou proudy, které zapouzdření zahřívají (vznikají ztráty vířivými proudy). Možná rizika dotyku obsluhy problematických částí byla eliminována umístěním výstražných tabulek a zábran v prostoru výlezu po žebříku pod generátor a v současné době tato místa neohrožují svou teplotou ostatní zařízení ani bezpečnost osob. Technické riziko, degradace materiálu, v důsledku vyšší teploty nehrozí, protože vnitřní části ZV včetně proudovodičů jsou chlazeny vzduchem. Použité izolační materiály oddělující jednotlivé části ZV a jsou odolné vůči těmto zvýšeným teplotám.

V minulosti byla tato místa předmětem úprav a inženýrských řešení ve smyslu posuzování jejich vlivu na bezpečnost a okolní komponenty. ZV byly na obou HVB podélně rozděleny a odizolovány z důvodů eliminace a lepšího rozložení teplot, viz příloha Q. Dále v roce 2012 na HVB I. byla rozdělena kompenzační deska s cílem zamezení zvýšeného ohřevu. Po provedení této úpravy na HVB II. bylo v 07/13 provedeno další měření při provozu bloku na výkonu 100% původního výkonu, příloha P, které ukázalo zhoršení stavu po provedené modifikaci. Teploty zapouzdření dosahovaly lokálně 190 °C při teplotě okolí 40 °C, viz obrázek 14.



Obr. 14 Měření teploty ZV na HVB II. po modifikaci 2013

Protože toto opatření nemělo efekt, byla v roce 2013 na HVB II. provedena další úprava této kompenzační desky popsaná v kapitole 7.13. Výsledek je stále neuspokojující a teploty ZV dosahují přes 150 °C. Po konzultaci s projektantem a zhotovitelem se kompenzační deska upraví zpět do původního stavu před úpravou v roce 2012. To by mělo zajistit, že teplota kompenzační desky nepřesáhne 130 °C.

Ostatní části zapouzdřených vodičů vyhovují normám ČSN.

8.5 Nulová spojka

Měření oteplení nulové spojky bylo provedeno současně s měřením oteplení ZV, viz příloha P. Úpravou popsanou v kapitole 7.12 bylo tedy dosaženo výrazného snížení teploty zapouzdření.

Maximální dotyková teplota 84,1 °C byla změřena na fázi L2. Tato teplota vyhovuje kritériu, které bylo stanoveno na teplotu 140 °C na jakékoliv části zapouzdření nulové spojky.

9 Možné další rezervy generátoru

Při hledání dalších možných rezerv pro zvýšení výkonu generátoru jsem zvolil metodu nalezení stropu pro jednotlivá hlavní zařízení vyvedení výkonu z bloku ETE.

9.1 Přenosová cesta 400 kV

Vyvedení výkonu z blokového transformátoru je provedeno jedním jednoduchým vedením 3 x 3 AlFe 450/52 do rozvodny 400 kV Kočín. Vedení je uloženo na stožárech typu DELTA. Dovolená proudová zatížitelnost lan je 2500 A.

Provozní zatížitelnost vypínače a odpojovače v rozvodně Kočín je 3150 A. Zkratová odolnost zařízení 400 kV je 47/118 A.

Rezerva v přenosové cestě je 39 % v případě vedení a 75 % u vypínačů a odpojovačů.

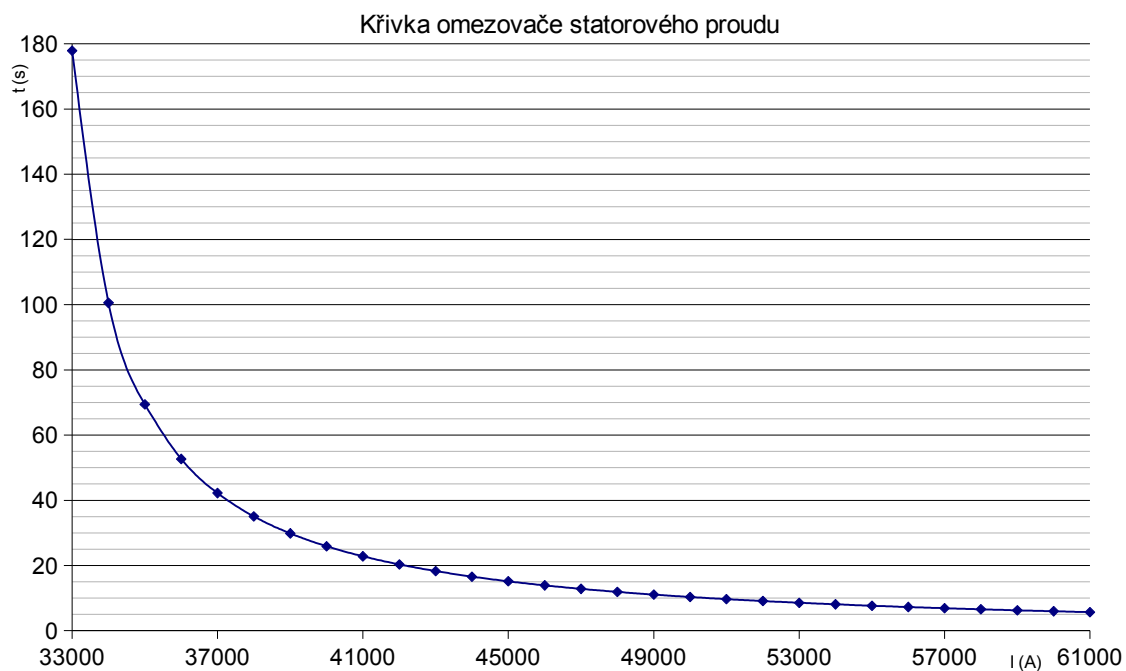
9.2 Generátor

Zvýšení výkonu generátoru naráží na konečnou možnost zvyšování budícího proudu a na chlazení generátoru.

Při stávající teplotě sekundární chladicí vody 33 °C je stanoven maximální proud statoru na 30070 A při budícím proudu 7416 A. Maximální reálný provozní proud generátoru je závislý na omezovači statorového proudu, který je nastaven na hodnotu 31653 A pro fázový proud ve vinutí statoru.

Omezovač statorového proudu se uvádí automaticky v činnost, pokud proud statorového vinutí překročí nastavenou hodnotu proudu a omezuje dobu působení proudového přetížení. Doba působení krátkodobého proudového přetížení statoru je určena vztahem 5. Závislost proudového přetížení statoru na době působení je zobrazena na obrázku 15. Tam také vidíme křivku, po které omezovač působí.

$$\left[\left(\frac{I}{31653} \right)^2 - 1 \right] \cdot t = 15,46 \text{ s} \quad (5)$$

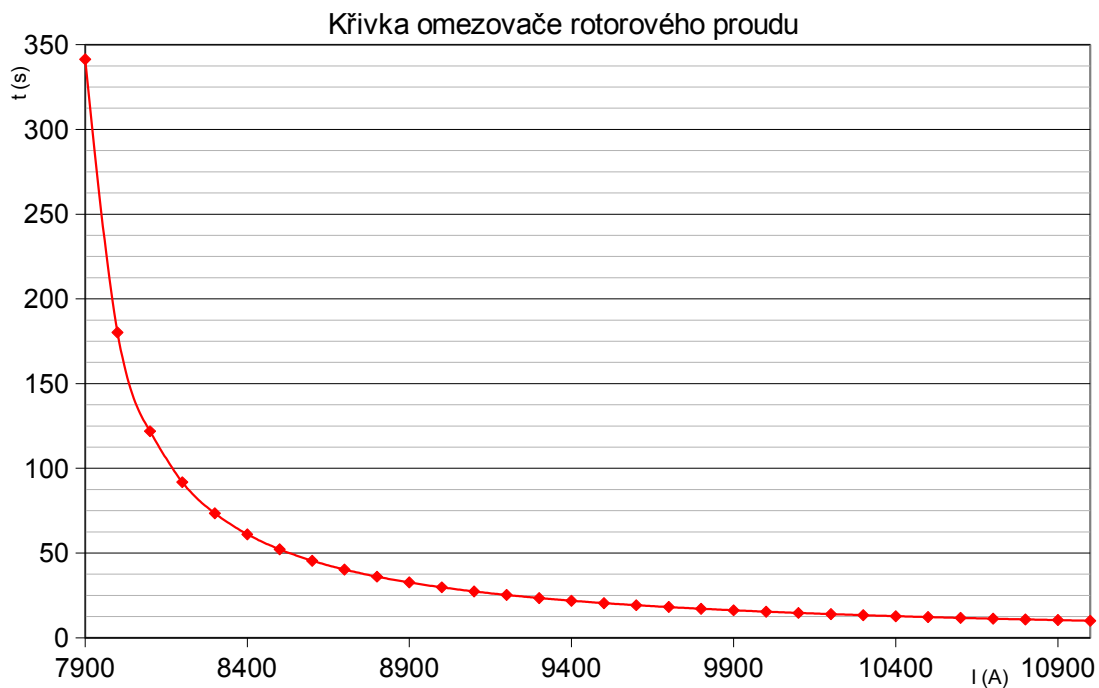


Obr. 15 Průběh křivky omezovače statorového proudu

Obecně je budicí zařízení schopno dodávat maximální budicí proud 7800 A. Teoretická výkonová rezerva budicí soustavy by tedy činila 5 %. Reálný maximální provozní proud budicího zařízení je závislý na omezovači rotorového proudu. Tento omezovač má nastavenou hodnotu pro krátkodobé proudové přetížení rotoru na 7797 A.

Omezovač rotorového proudu omezuje dobu působení přetížení rotorového vinutí proudem větším než je tato nastavená hodnota. Působení omezovače při krátkodobém proudovém přetížení rotoru je určeno vztahem 6. Tuto závislost proudového přetížení rotoru na době působení zobrazuje obrázek 16. Graf také ukazuje křivku, po které omezovač působí.

$$\left[\left(\frac{I}{7797} \right)^2 - 1 \right] \cdot t = 20,00 \text{ s} \quad (6)$$



Obr. 16 Průběh křivky omezovače rotorového proudu

Stávající sběrné zařízení je schopno přenést proud do velikosti 8200 A, to znamená rezervu v zatížení o velikosti 10 %.

9.3 Blokový transformátor

Při stanovení výkonového stropu blokového transformátoru vycházím z předpokladu, že zatížení blokového transformátoru bude 100 %, tedy $S_{\text{prov}} \approx S_{\text{nBT}}$.

Podle vzorce 3 takovému zatížení odpovídá činný výkon generátoru na svorkách $P_g = 1125$ MW.

Tab. 13 Výpočet zatížení a ztrát BT

		$P=1000$ MW	$P=1100$ MW	$P=1125$ MW
Výkon bloku	(MW)	1000	1100	1125
Velikost VS	(MW)	45		
Výkon na BT	(MW)	955	1055	1080
$\cos\varphi$	(-)	0,9		
S_n	(MVA)	1200		
u_k	(-)	0,14		
i_0	(-)	0,005		
P_k	(MW)	2,25		
P_0	(MW)	0,72		
$\operatorname{tg}\varphi$	(-)	0,484		
P_p	(MW)	955	1055	1080
Q_p	(MVAr)	462,528	510,960	522,720
S_p	(MVA)	1061,111	1172,222	1200,000
D_p	(MW)	2,479	2,867	2,965
D_Q	(MVAr)	137,362	166,312	173,500
D_s	(MVA)	137,384	166,337	173,525
$\sum P$	(MW)	957,479	1057,867	1082,965
$\sum Q$	(MVAr)	599,889	677,272	696,220

Z tabulky plyne, že při zvýšení výkonu bloku z 100 MW na 1100 MW vzrostou činné ztráty BT přibližně o 15 %. Při zvýšení na maximální využití BT vzrostou tyto ztráty o dalších 3,5 %. To znamená, že činné ztráty blokového transformátoru by činily přibližně 0,27 % výkonu.

Blokové transformátory jsou vyrobeny podle norem GHOST, které do výkonu transformátoru nezapočítávají ztráty.

Při takovémto zatížení by blokový transformátor pracoval bez jakékoliv rezervy. Zatížení transformátoru na 100% má také vliv na čerpání životnosti, především na systém izolace vinutí.

V současné době pracuje blokový transformátor na 96 %. Teoretická rezerva tak činí 4 %.

9.4 Zařízení vyvedení výkonu

Zapouzdřené vodiče

Limit přenosové schopnosti celého zapouzdřeného vodiče vychází z vodou chlazené části. Tato část je schopna přenést proud až do velikosti 30200 A. Ostatní část zapouzdřených vodičů, přirozeně chlazené i nuceně vzduchem chlazené, jsou schopny přenést i vyšší proudy než 30200 A. Rezerva zapouzdřených vodičů činí tedy 4 %.

Generátorový vypínač

Jak jsem již popsal v kapitole 7.16 je generátorový vypínač schopen přenášet trvalý proud 30070 A. Je dimenzován na maximální proud 31000 A. Jeho teoretická rezerva je 6 %.

Přístrojové transformátory proudu

Přístrojové transformátory proudu mají převod 27000 A/5 A. Dle 4ČSN 361360:1974 je jejich maximální zatížitelnost na 120 %, to odpovídá maximálnímu proudu 32400 A. Výkonová rezerva přístrojových transformátorů proudu je 12 %.

10 Závěr

Další zvýšení výkonu, jak vyplývá z kapitoly 8.1, naráží na provozní omezení dané konstrukcí generátoru způsobující oteplení stahovací desky statorového vinutí.

Magnetický bočník generátoru na prvním výrobním bloku nemá dostatečnou tloušťku k zachycení celého rozptylového magnetického toku vznikající ve statorovém vinutí a tak se část tohoto toku uzavírá v nemagnetické stahovací desce, která je tímto tokem zatěžována. Tato zátěž způsobuje tepelné namáhání stahovací desky. Na samotnou stahovací desku toto tepelné namáhání nemá žádný vliv, protože materiál ze kterého je vyrobena může být zatížen na teplotu až 250 °C. Problém, který nastává při zvýšeném oteplení stahovací desky je oteplení statorových plechů. Tyto plechy jsou opatřeny izolačním nátěrem s tepelnou odolností do 155 °C. Toto omezení při teplotním gradientu stahovací desky 60 °C dává maximální teplotu stahovací desky 215 °C pro čidlo T169.

Omezení tepelného namáhání stahovací desky není možné ošetřit v rámci žádného existujícího limitu nebo ochrany generátoru, protože toto zvýšené oteplení vzniká především při nájezdu generátoru do podbuzené oblasti, tedy souvisí s činným výkonem generátoru. Z tohoto důvodu pro eliminaci vysokých teplot byl navržen takový sklon HMP, aby v podbuzené oblasti při vyšších výkonech generátoru nedocházelo k trvalému oteplení stahovací desky na více než 215 °C.

Pro odstranění tohoto problému by bylo třeba vyměnit stahovací desku. To by znamenalo rozebrání generátoru, výměnu stahovací desky a převinutí statoru. Taková rozsáhlá oprava generátoru by byla vlastně jeho repase a rovnala by se novému generátoru.

Magnetický bočník generátoru druhého výrobního bloku je masivnější a problém se zvýšeným oteplením stahovací desky generátoru nenastává. To dává prostor pro případné další zvýšení výkonu o (3 - 4) %, do maximálního zatížení blokového transformátoru nebo do výkonového stropu generátoru.

Jak vyplývá z výše uvedených skutečností, po zvýšení výkonu generátoru elektrárny Temelín při využití projektových rezerv, pracuje generátor na prvním výrobním bloku v blízkosti svého výkonového stropu. Generátor druhého výrobního bloku a ostatní zařízení pracují jen s malou výkonovou rezervou. Jedná se především o blokové transformátory a zapouzdřené vodiče, jejichž výkonová rezerva je do 4 %.

Další neshoda, která přetrvává již od začátku provozu generátoru, je zvýšená teplota zapouzdřených vodičů v oblasti vyvedení fází z generátoru. Jedná se především o kompenzační

desku, kde teplota přesahuje hodnotu 150 °C.

Tyto vysoké teploty jsou dány trojúhelníkovou geometrií vodičů, která je předurčena trojúhelníkovou geometrií vyvedení fázových průchodek. Do značné míry jsou tyto teploty dány technologií použitých materiálů a to i funkčními požadavky na odstínění elektromagnetického pole proudovodičů v prostorech přístupných obsluze.

Změnou konfigurace těchto zapouzdření nelze úplně eliminovat jejich ohřev, pouze jej omezit. Je proto nutné při zvýšeném proudovém zatížení monitorovat ustálený stav teplot zapouzdřených vodičů se zachováním všech funkčních a bezpečnostních opatření. Lze konstatovat, že se jedná o problém tepelného uzlu na pouzdru, který dle dosavadních zjištění nemá vliv na celkovou životnost technologického zařízení. Zapouzdřené vodiče je možné provozovat při teplotách cca 150 °C pro HVB I. a cca 200 °C pro HVB II.

Vzhledem k zatížení blokového transformátoru na 96 % je také vhodné průběžně sledovat vybrané parametry jednotlivých transformátorových jednotek, aby se zabránilo překročení maximální teploty vinutí nad 98 °C a tím změněním koeficientu stárnutí neupravené papírové izolace vinutí transformátoru na hodnotu větší než 1,0. Doporučeno je také sledovat hodnoty vody a rozpuštěných plynů, které nesmí překročit hodnoty uvedené v tabulce 12.

Seznam obrázků

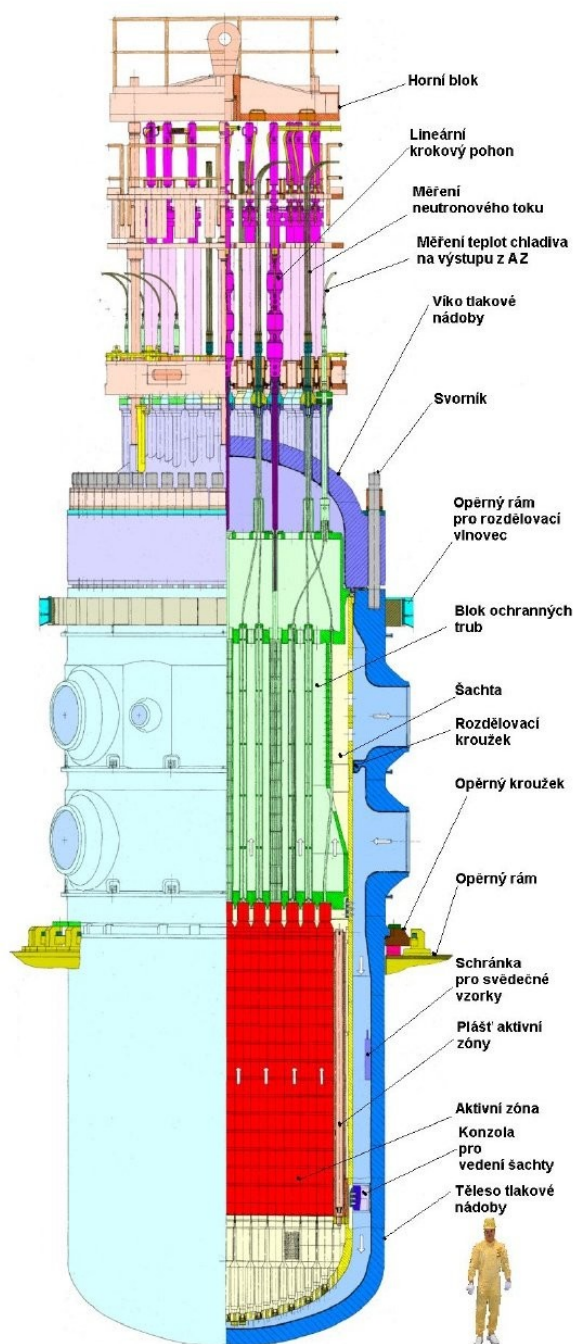
Obr. 1 Primární okruh JE VVER 1000.....	4
Obr. 2 Reaktor VVER 1000.....	6
Obr. 3 Systém kompenzace objemu.....	14
Obr. 4 Základní tepelné schéma sekundárního okruhu.....	16
Obr. 5 Turbosoustrojí jaderné elektrárny Temelín.....	18
Obr. 6 Vyvedení výkonu výrobního bloku jaderné elektrárny Temelín.....	24
Obr. 7 Schéma napájení vlastní spotřeby.....	26
Obr. 8 Zjednodušené schéma budící soustavy generátoru 1000 MW.....	31
Obr. 9 Základní geometrie modelu konstrukční vzpěry.....	51
Obr. 10 Meze statické stability v přebuzené oblasti generátoru.....	56
Obr. 11 Trend průběhu oteplení stahovací desky z Historického serveru.....	69
Obr. 12 Graf závislosti oteplení stahovací desky na výkonu generátoru.....	70
Obr. 11 Umístění čidel měření teploty na stahovací desce jádra statoru a magnetickém stínícím bočníku.....	71
Obr. 12 Měření teploty ZV na HVB II. po modifikaci 2013.....	75
Obr. 13 Průběh křivky omezovače statorového proudu.....	78
Obr. 14 Průběh křivky omezovače rotorového proudu.....	79

Literatura

- 01: URL: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete.html>>, [cit. 2014-09-30]
- 02: CENCINGER, F. *Primární část JE VVER 1000, Díl I.*. Brno, 2008
- 03: CENCINGER, F. *Sekundární část JE VVER 1000, I. Díl* . Brno, 2010
- 04: CENCINGER, F. *Sekundární část JE VVER 1000, II. Díl* . Brno, 2011
- 05: TICHÁ, G. *Elektrická část JE VVER 1000, I. část*. Brno, 2012
- 06: URL: <<http://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/4720.html>>, [cit. 2014-11-04]
- 08: ANDĚL, J. a kolektiv *Technická zpráva - elektrická část*, 2009
- 10: RANDA *Hodnocení zvýšení výkonu generátoru*, 2011
- 11: PROKŮPKOVÁ *Statická a dynamická stabilita, výpočet zkratových proudů*, 2011
- 12: PROKŮPKOVÁ *Kontrola dimenzování velkých transformátorů*, 2011
- 13: RANDA *Kontrola dimenzování zařízení 400 kV vyvedení výkonu ETE - Kočín*, 2011

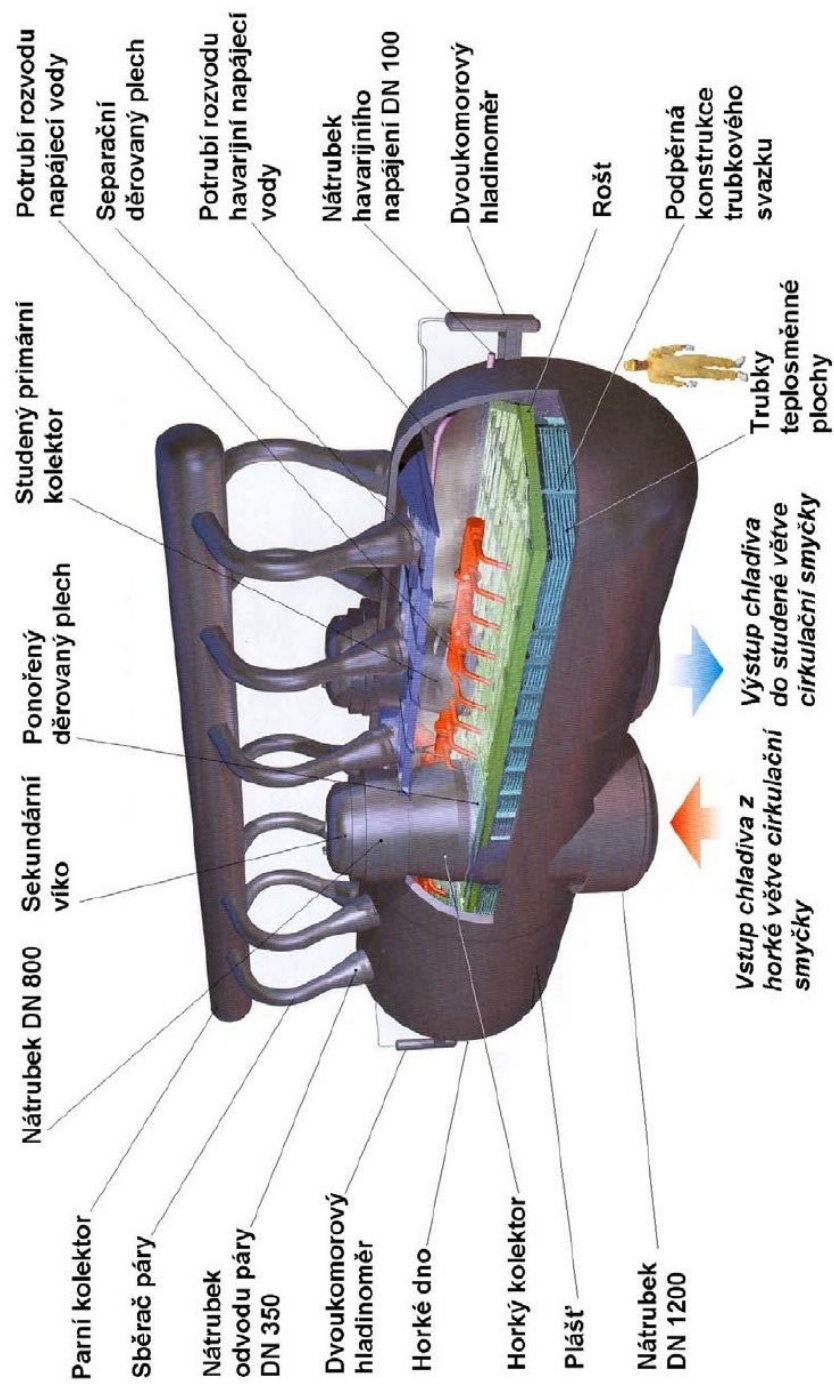
Příloha A

Podélný řez reaktoru VVER 1000 [02]



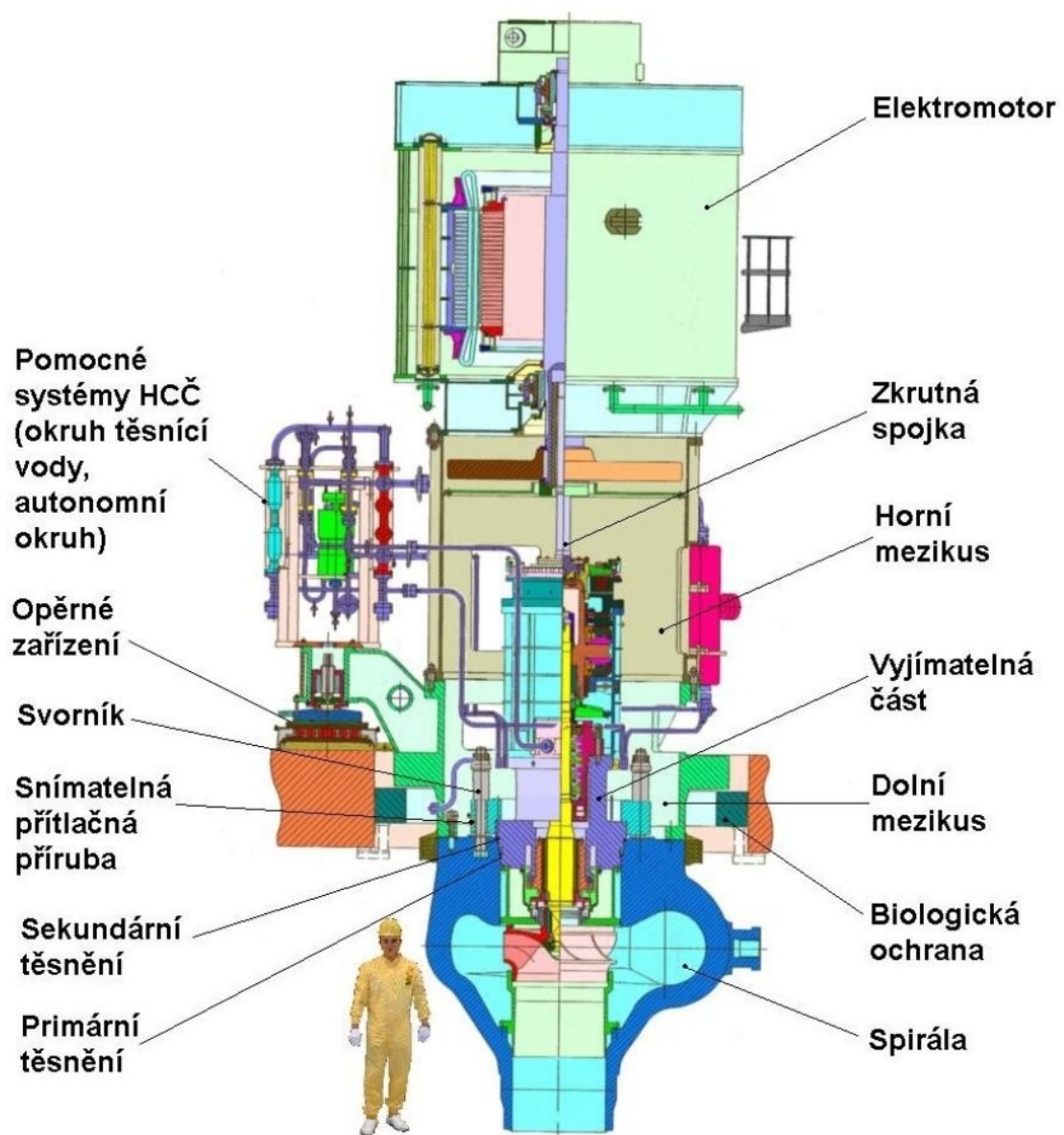
Příloha B

Parogenerátor PGV - 1000 M [02]



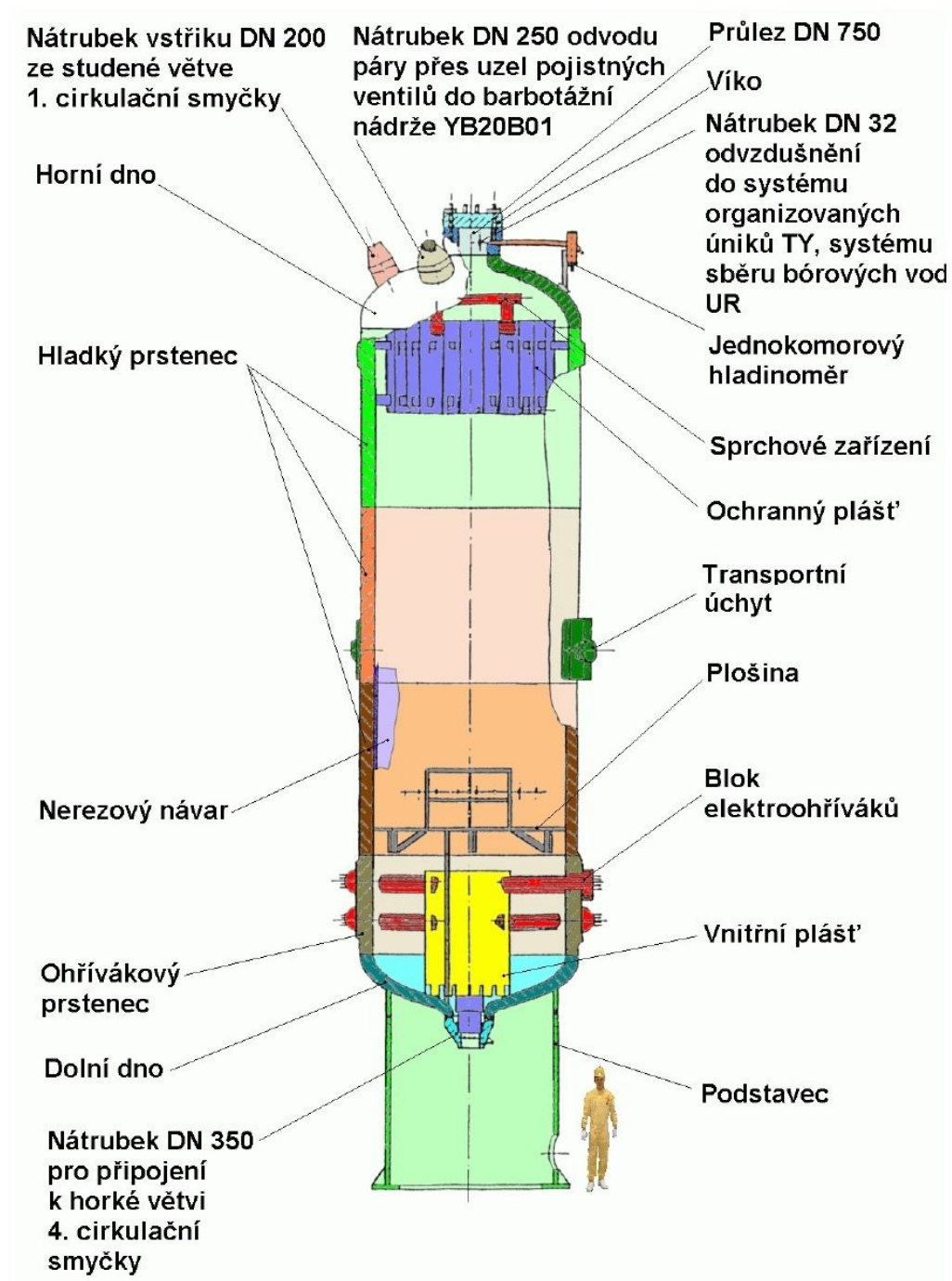
Příloha C

Hlavní cirkulační čerpadlo [02]



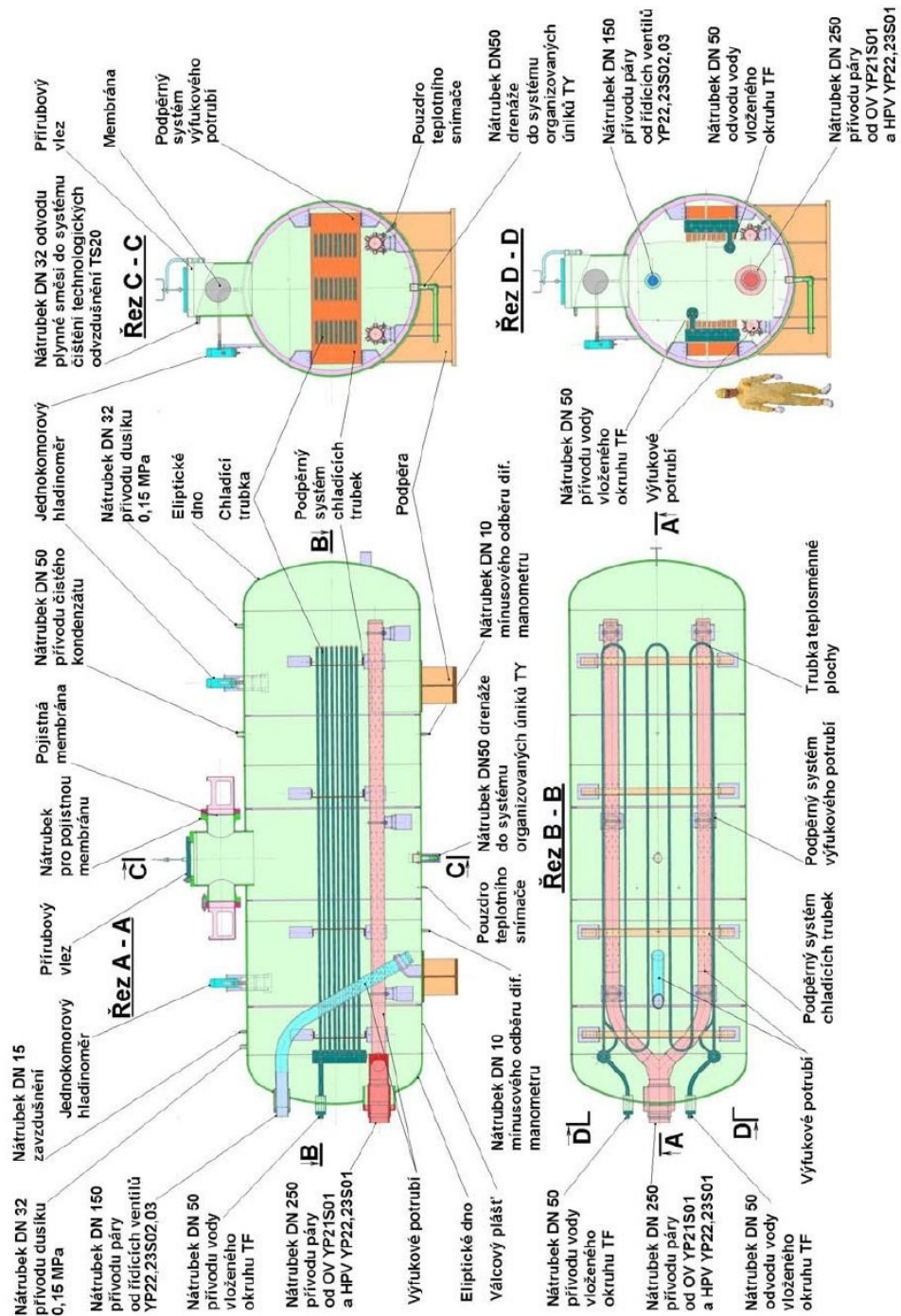
Příloha D

Kompenzátor objemu YP10B01 [02]



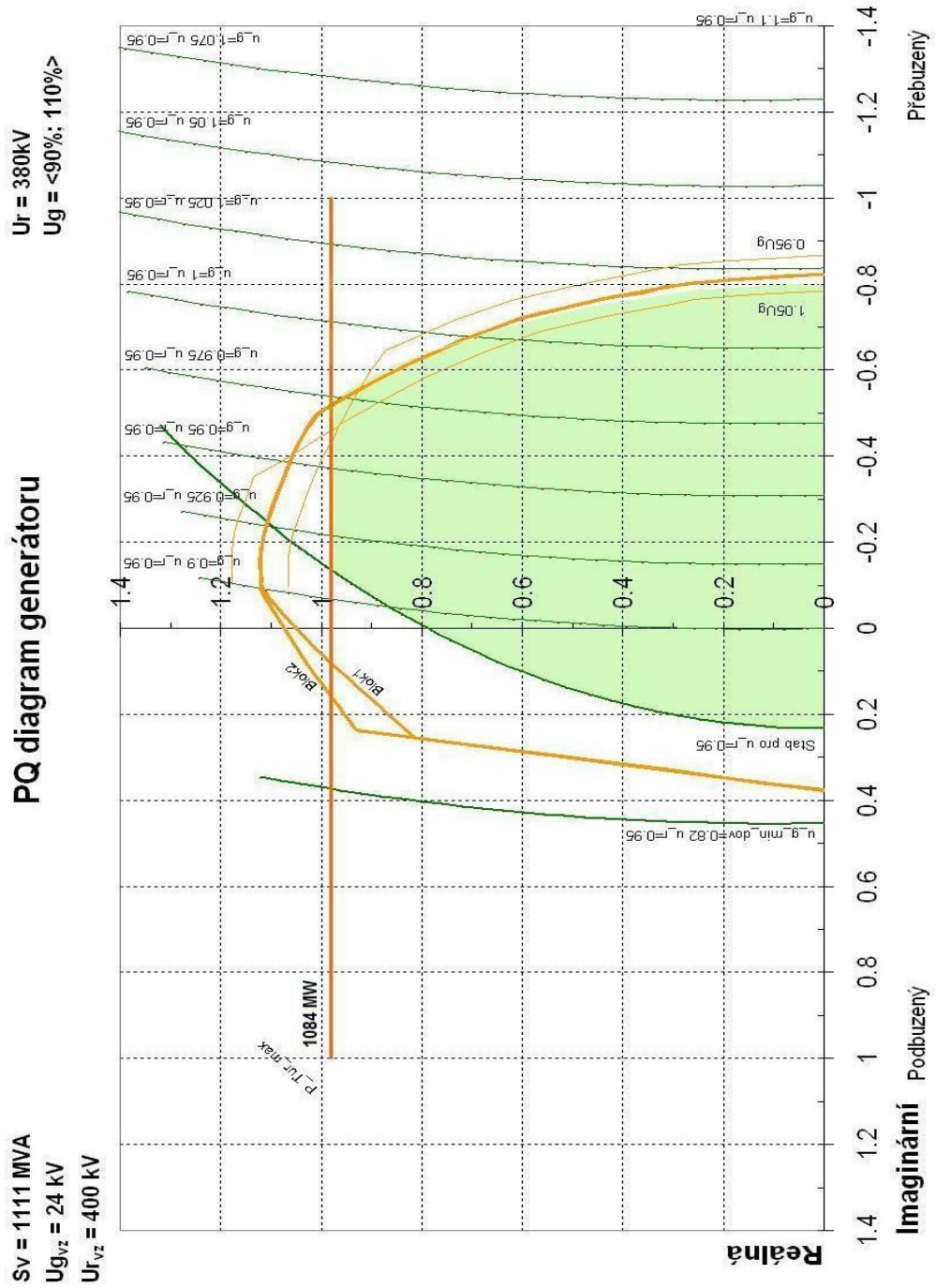
Příloha E

Barbotážní nádrž YP20B01 [02]



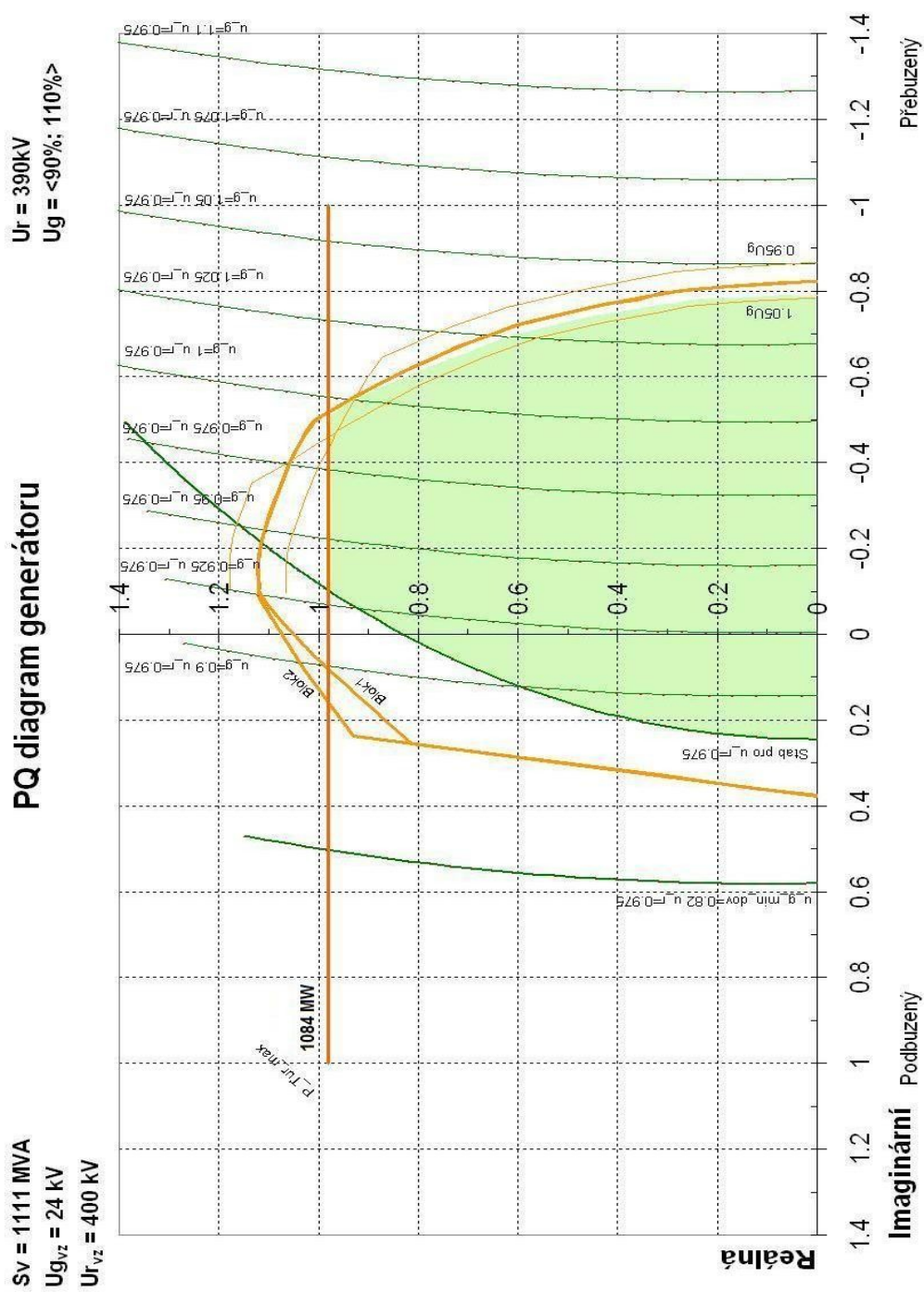
Příloha F

P-Q diagram generátoru pro napětí v rozvodně Kočín $U_r = 380 \text{ kV}$ [11]



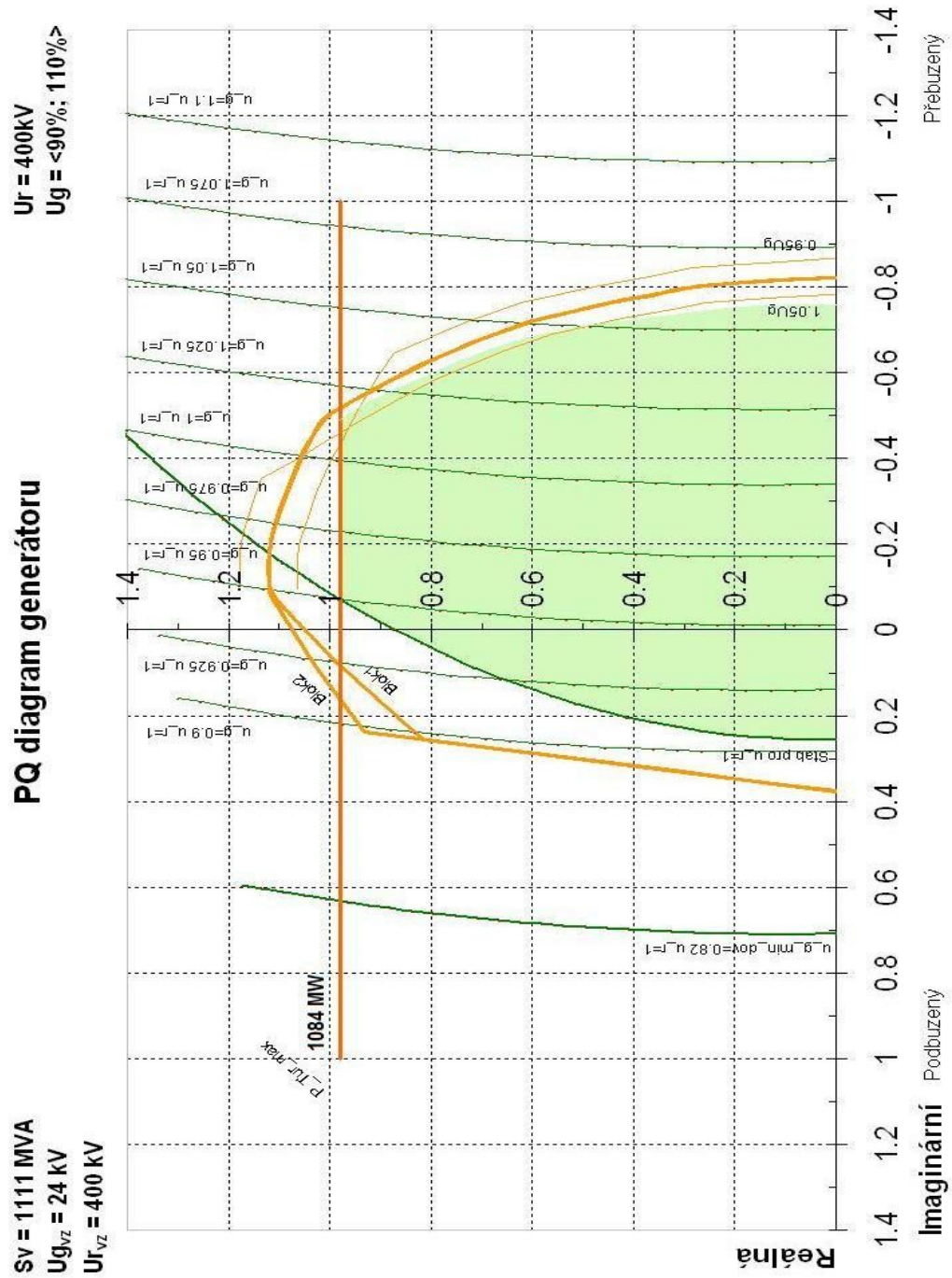
Příloha G

P-Q diagram generátoru pro napětí v rozvodně Kočín $U_r=390$ kV [11]

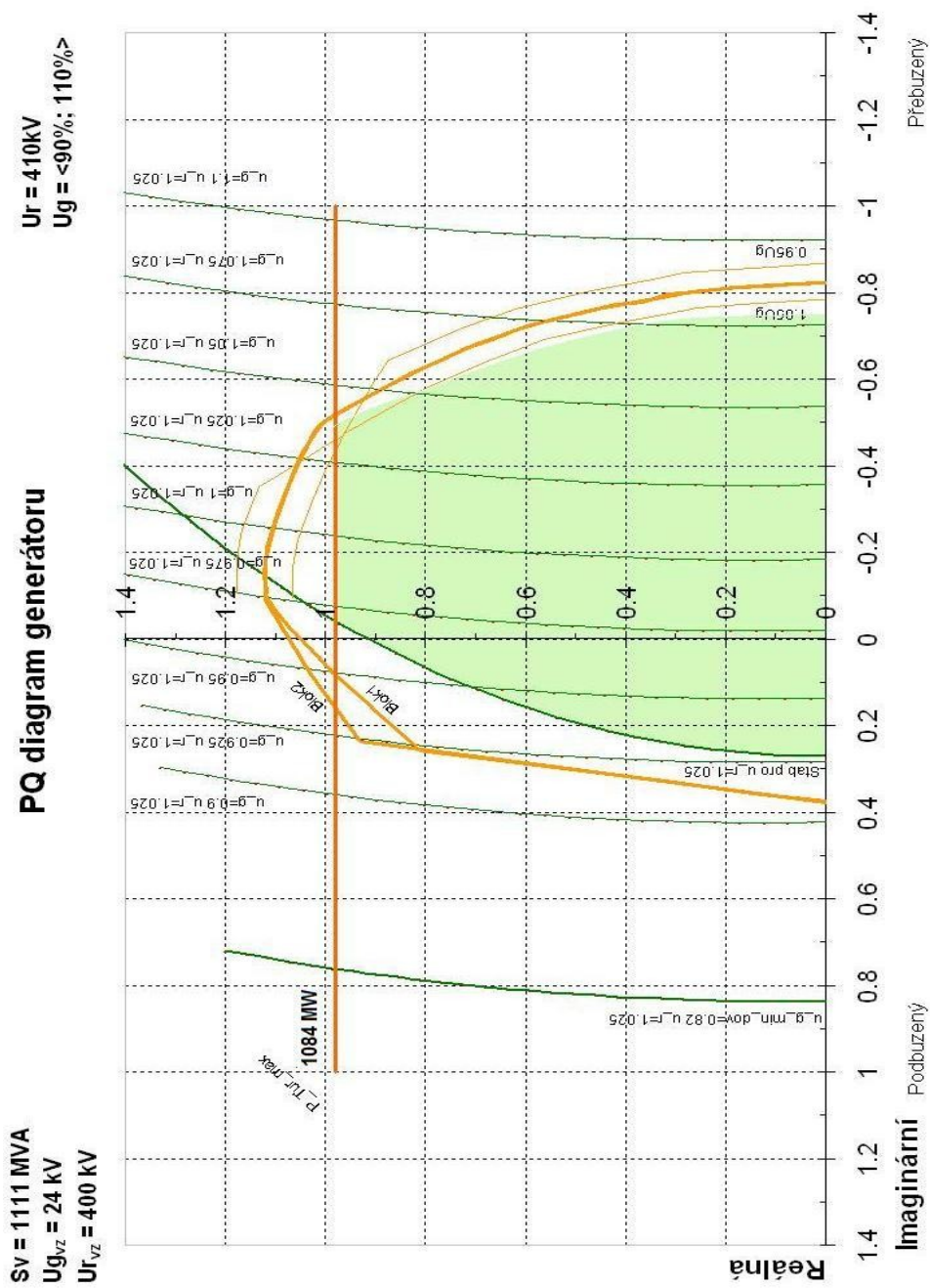


Příloha H

P-Q diagram generátoru pro napětí v rozvodně Kočín $U_r=400$ kV [11]



P-Q diagram generátoru pro napětí v rozvodně Kočín $U_r=410$ kV [11]

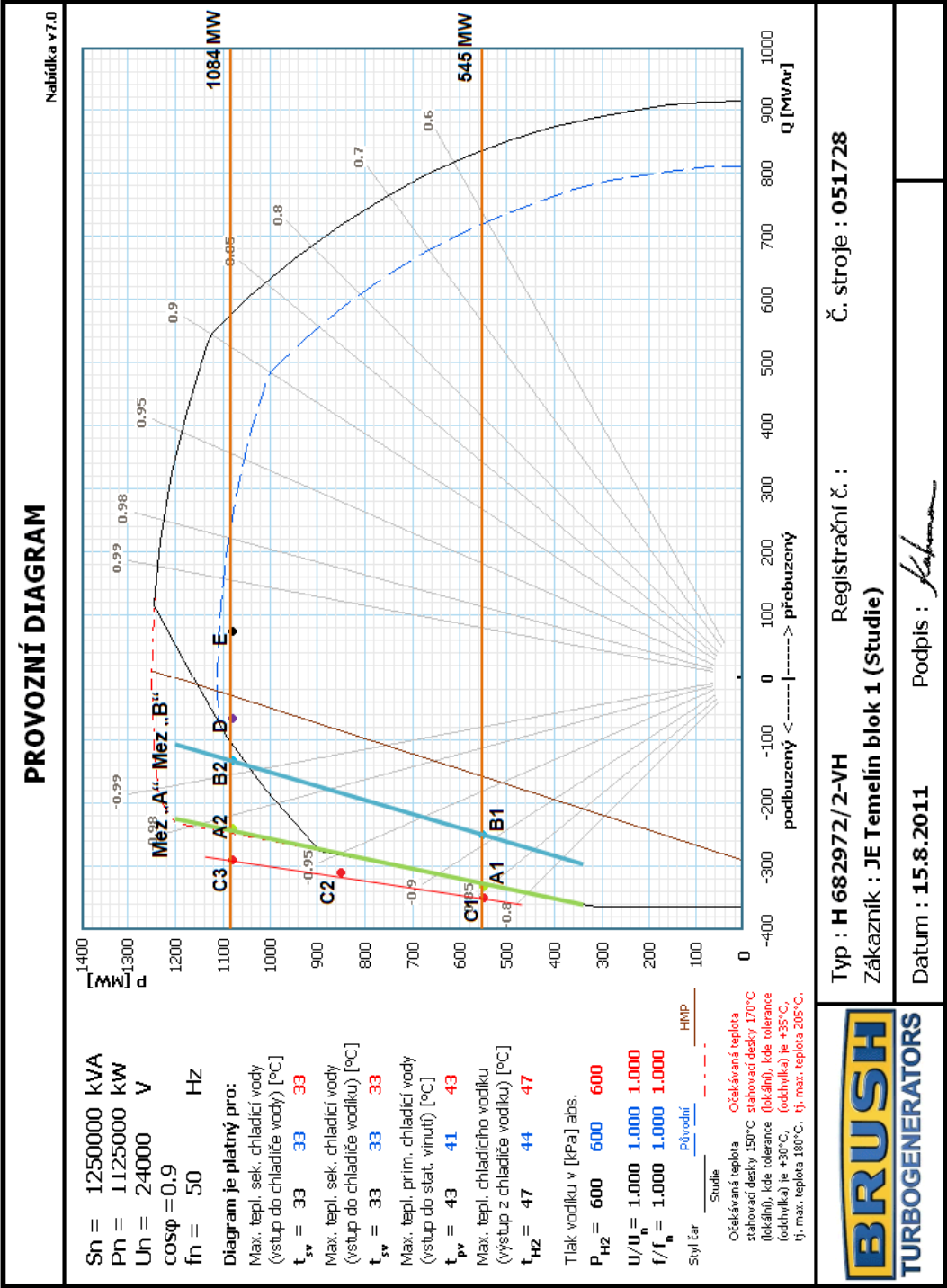


P-Q diagram generátoru pro napětí v rozvodně Kočín $U_r=420$ kV [11]



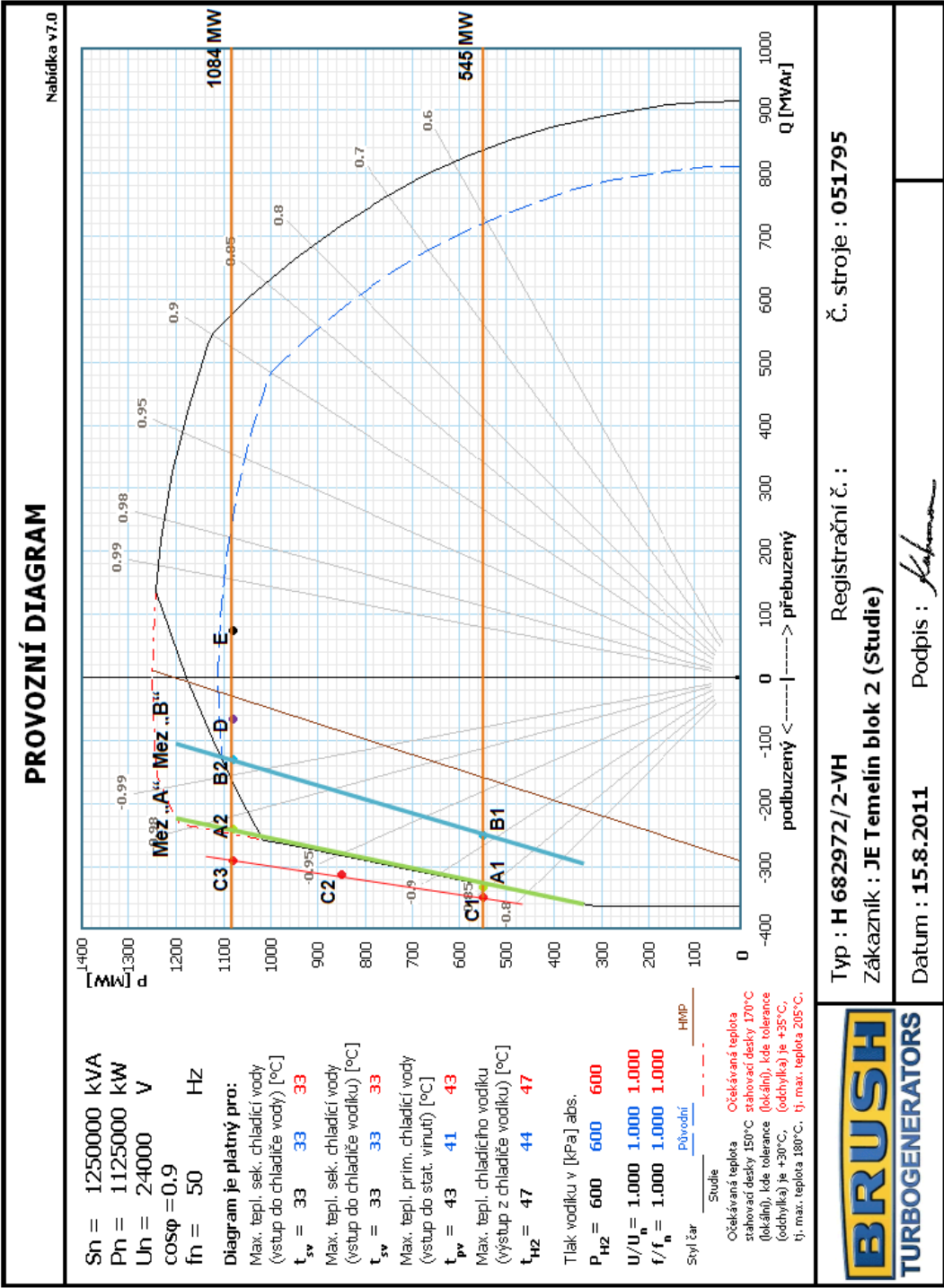
Příloha K

Meze statické stability HVB I. [11]

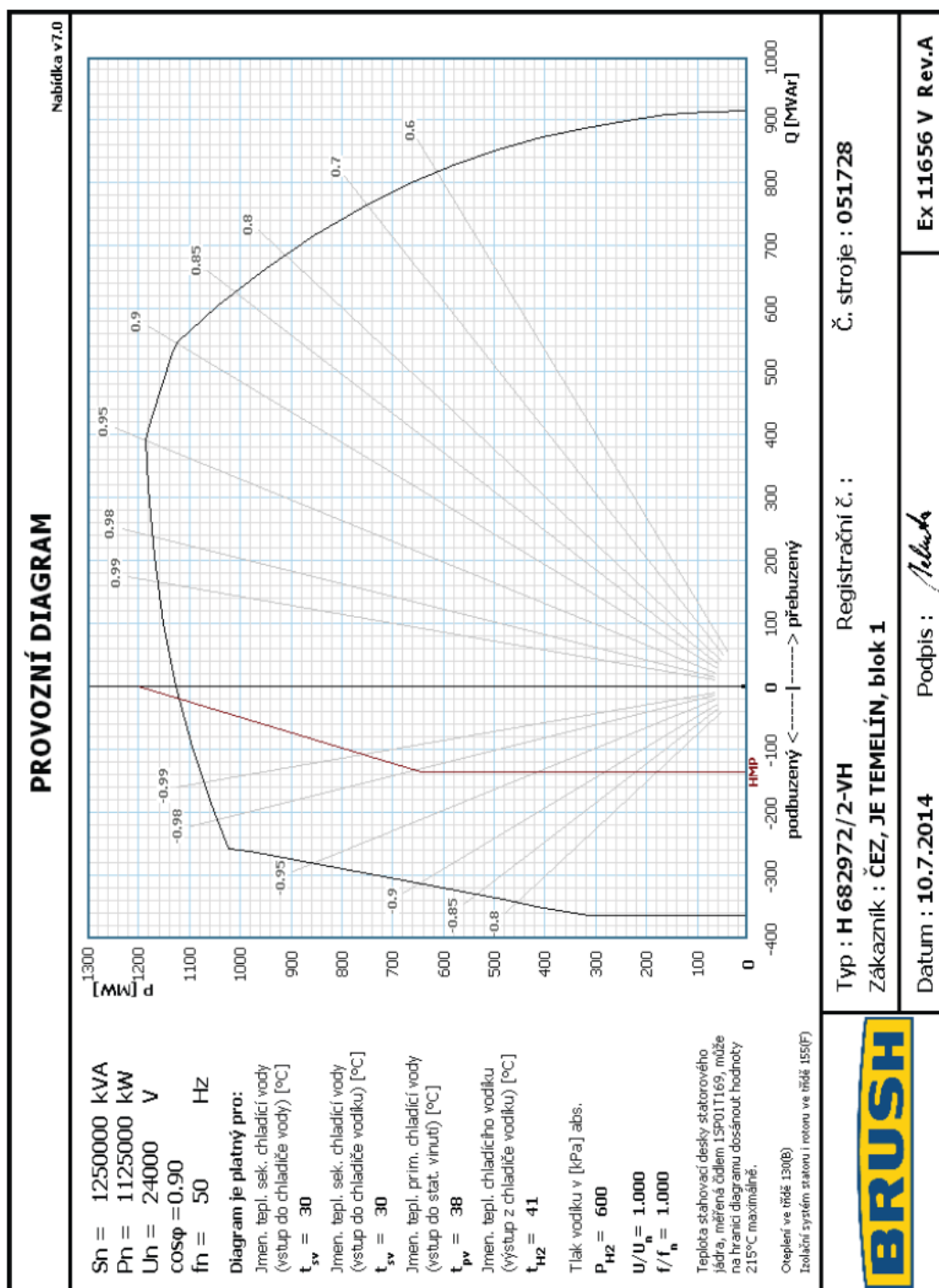


Příloha L

Meze statické stability HVB II. [11]



Provozní diagram sestrojený na základě vyhodnocení oteplení stahovací desky generátoru HVB I.



Příloha N

Tabulka naměřených hodnot vibrací čela generátoru HVB I.

Konektory svorkovnice	Umístění čidla	Číslo čidla	50 Hz	100 Hz	Σ
			(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)
9	zděř vnější nahoře – radiálně	1	3,06	6,20	6,93
10	zděř vnější nahoře – tangenciálně	2	0,99	1,25	1,71
11	zděř vnější vpravo – radiálně	3	2,96	3,71	4,77
12	zděř vnější vpravo – tangenciálně	4	2,48	2,19	3,36
13	zděř vnější dole – radiálně	5	2,65	11,16	11,50
14	zděř vnější dole – tangenciálně	6	1,47	0,85	1,78
15	zděř vnější vlevo – radiálně	7	2,26	6,30	6,76
16	zděř vnější vlevo – tangenciálně	8	0,70	0,02	0,72
17	zděř vnější nahoře – radiálně	9	2,35	12,16	12,39
18	zděř vnější nahoře – tangenciálně	10	1,32	1,62	2,12
19	zděř vnější vpravo – radiálně	11	2,08	10,39	10,63
20	zděř vnější vpravo – tangenciálně	12	1,97	6,11	6,48
21	zděř vnější dole – radiálně	13	2,99	10,20	10,66
22	zděř vnější dole – tangenciálně	14	1,66	4,46	4,83
23	zděř vnější vlevo – radiálně	15	0,68	12,92	13,02
24	zděř vnější vlevo – tangenciálně	16	3,16	2,39	3,92
25	zděř vnitřní nahoře – radiálně	17	2,44	4,73	5,91
26	zděř vnitřní nahoře – tangenciálně	18	1,07	5,63	5,89
27	zděř vnitřní vpravo – radiálně	19	2,58	10,88	11,20
28	zděř vnitřní vpravo – tangenciálně	20	3,06	7,13	778
29	zděř vnitřní dole – radiálně	21	3,03	11,92	12,35
30	zděř vnitřní dole – tangenciálně	22	1,33	6,22	6,39
31	zděř vnitřní vlevo – radiálně	23	1,90	11,95	12,13
32	zděř vnitřní vlevo - radiálně	24	2,98	5,16	6,00

Příloha O

Měření vybraných parametrů transformátorových jednotek 1AT1, 2, 3 na výkonové hladině 100% N_{nom} původní výkon.

Tab. č. 1: Měření rozložení teplot olejové náplně na chladicím systému a povrchu transformátorových jednotek 1AT1, 2, 3

Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (°C)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (°C)
2	MST-1AT1-T01	57,7	22	MST-1AT2-T07	61,3
3	MST-1AT1-T02	58,0	23	MST-1AT2-T08	61,2
4	MST-1AT1-T03	56,0	24	MST-1AT2-T09	64,1
5	MST-1AT1-T04	59,2	25	MST-1AT2-T10	61,4
6	MST-1AT1-T05	57,1	26	MST-1AT2-T11	61,3
7	MST-1AT1-T06	56,7	27	MST-1AT2-T12	61,8
8	MST-1AT1-T07	56,9	28	MST-1AT2-T13	32,6
9	MST-1AT1-T08	57,0	29	MST-1AT2-T14	55,2
10	MST-1AT1-T09	59,0	30	MST-1AT3-T01	57,5
11	MST-1AT1-T10	57,4	31	MST-1AT3-T02	57,3
12	MST-1AT1-T11	56,6	32	MST-1AT3-T03	54,3
13	MST-1AT1-T12	57,3	33	MST-1AT3-T04	58,0
14	MST-1AT1-T13	33,0	34	MST-1AT3-T05	55,7
15	MST-1AT1-T14	51,7	35	MST-1AT3-T06	55,8
16	MST-1AT2-T01	62,6	36	MST-1AT3-T07	55,4
17	MST-1AT2-T02	64,3	37	MST-1AT3-T08	56,2
18	MST-1AT2-T03	60,8	38	MST-1AT3-T09	58,6
19	MST-1AT2-T04	64,2	39	MST-1AT3-T10	56,6
20	MST-1AT2-T05	61,6	40	MST-1AT3-T11	55,8
21	MST-1AT2-T06	60,4	41	MST-1AT3-T12	56,3

Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (°C)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (°C)
42	MST-1AT3-T13	31,7	46	MST-HOTSPOT-AT1	89,0
43	MST-1AT3-T14	51,4	47	MST-HOTSPOT-AT2	98,0
44	Teplota okolí traf MST-T-OUT	31,8	48	MST-HOTSPOT-AT3	90,9
45	Vlhkost okolí traf MST-H2O-OUT	36,1%			

Tab. č. 2: Měření vody a plynů rozpuštěných v oleji transformátorových jednotek 1AT1, 2, 3

Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (ppm)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (ppm)
2	MST-1AT1-H2*Pr	8,8	15	PMST-1AT2-CH4*Pr	28,2
3	MST-1AT1-CO2*Pr	1960,6	16	MST-1AT2-C2H2*Pr	0,2
4	MST-1AT1-CO*Pr	202,8	17	MST-1AT2-H2O*Pr	5,6
5	MST-1AT1-C2H4*Pr	4,65	18	MST-1AT3-H2*Pr	4,8
6	MST-1AT1-C2H6*Pr	9,5	19	MST-1AT3-CO2*Pr	2618,3
7	MST-1AT1-CH4*Pr	26,0	20	MST-1AT3-CO*Pr	282,6
8	MST-1AT1-C2H2*Pr	0,81	21	MST-1AT3-C2H4*Pr	7,9
9	MST-1AT1-H2O*Pr	5,9	22	MST-1AT3-C2H6*Pr	15,2
10	MST-1AT2-H2*Pr	6,8	23	MST-1AT3-CH4*Pr	32,6
11	MST-1AT2-CO2*Pr	3470,4	24	MST-1AT3-C2H2*Pr	1,3
12	MST-1AT2-CO*Pr	388,6	25	MST-1AT3-H2O*Pr	5,6
13	MST-1AT2-C2H4*Pr	14,1			
14	MST-1AT2-C2H6*Pr	17,7			

Tab. č. 3: Měření proudů napětí a výkonů na VN a VVN straně transformátorových jednotek 1AT1, 2, 3

Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (kV _{ef})	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (kV _{ef})
2	MST-1AT-VVN-UL1ef	242,5	12	MST-1AT-VN-UL1ef	13,8
3	MST-1AT-VVN-UL2ef	242,0	13	MST-1AT-VN-UL2ef	13,9
4	MST-1AT-VVN-UL3ef	242,0	14	MST-1AT-VN-UL3ef	13,9
Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (kA _{ef})	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (kA _{ef})
5	MST-1AT-VVN-IL1ef	1,3	15	MST-1AT-VN-IL1ef	23,1
6	MST-1AT-VVN-IL2ef	1,3	16	MST-1AT-VN-IL2ef	23,2
7	MST-1AT-VVN-IL3ef	1,3	17	MST-1AT-VN-IL3ef	23,0
Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (Hz)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (Hz)
8	MST-1AT-f-VVN-UL1	49,98	18	MST-1AT-f-VN-UL1	49,98
Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (MW)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (MW)
9	MST-1AT-P-VVN	949	19	MST-1AT-P-VN	962
Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (MVA)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (MVA)
10	MST-1AT-S-VVN	959	20	MST-1AT-S-VN	962
Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (MVA _r)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (MVA _r)
11	MST-1AT-Q-VVN	-89	21	MST-1AT-Q-VN	-42

Měření vybraných parametrů transformátorových jednotek 1AT1, 2, 3 na výkonové hladině 100% N_{nom} při najíždění bloku na vyšší výkon.

Tab. č. 1: Měření rozložení teplot olejové náplně na chladicím systému a povrchu transformátorových jednotek 1AT1, 2, 3

Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (°C)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (°C)
2	MST-1AT1-T01	50,0	22	MST-1AT2-T07	50,1
3	MST-1AT1-T02	50,0	23	MST-1AT2-T08	50,2
4	MST-1AT1-T03	45,1	24	MST-1AT2-T09	53,3
5	MST-1AT1-T04	50,8	25	MST-1AT2-T10	50,3
6	MST-1AT1-T05	49,0	26	MST-1AT2-T11	50,3
7	MST-1AT1-T06	48,4	27	MST-1AT2-T12	50,6
8	MST-1AT1-T07	48,2	28	MST-1AT2-T13	21,0
9	MST-1AT1-T08	48,2	29	MST-1AT2-T14	42,5
10	MST-1AT1-T09	51,2	30	MST-1AT3-T01	46,7
11	MST-1AT1-T10	48,3	31	MST-1AT3-T02	47,0
12	MST-1AT1-T11	47,5	32	MST-1AT3-T03	42,3
13	MST-1AT1-T12	47,9	33	MST-1AT3-T04	47,3
14	MST-1AT1-T13	20,2	34	MST-1AT3-T05	45,5
15	MST-1AT1-T14	40,9	35	MST-1AT3-T06	45,0
16	MST-1AT2-T01	52,0	36	MST-1AT3-T07	44,7
17	MST-1AT2-T02	53,1	37	MST-1AT3-T08	45,2
18	MST-1AT2-T03	47,5	38	MST-1AT3-T09	48,2
19	MST-1AT2-T04	53,6	39	MST-1AT3-T10	45,6
20	MST-1AT2-T05	50,7	40	MST-1AT3-T11	45,0
21	MST-1AT2-T06	49,6	41	MST-1AT3-T12	45,4

Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (°C)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (°C)
42	MST-1AT3-T13	18,9	46	MST-HOTSPOT-AT1	84,7
43	MST-1AT3-T14	37,8	47	MST-HOTSPOT-AT2	87,7
44	Teplota okolí traf MST-T-OUT	21,5	48	MST-HOTSPOT-AT3	81,2
45	Vlhkost okolí traf MST-H2O-OUT	47,3%			

Tab. č. 2: Měření vody a plynů rozpuštěných v oleji transformátorových jednotek 1AT1, 2, 3

Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (ppm)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (ppm)
2	MST-1AT1-H2*Pr	7,0	15	PMST-1AT2-CH4*Pr	6,4
3	MST-1AT1-CO2*Pr	1828,3	16	MST-1AT2-C2H2*Pr	0,4
4	MST-1AT1-CO*Pr	204,5	17	MST-1AT2-H2O*Pr	4,7
5	MST-1AT1-C2H4*Pr	4,0	18	MST-1AT3-H2*Pr	1,8
6	MST-1AT1-C2H6*Pr	9,6	19	MST-1AT3-CO2*Pr	927,1
7	MST-1AT1-CH4*Pr	26,4	20	MST-1AT3-CO*Pr	39,4
8	MST-1AT1-C2H2*Pr	0,2	21	MST-1AT3-C2H4*Pr	2,2
9	MST-1AT1-H2O*Pr	5,2	22	MST-1AT3-C2H6*Pr	4,3
10	MST-1AT2-H2*Pr	1,9	23	MST-1AT3-CH4*Pr	8,0
11	MST-1AT2-CO2*Pr	1130,4	24	MST-1AT3-C2H2*Pr	0,7
12	MST-1AT2-CO*Pr	49,1	25	MST-1AT3-H2O*Pr	5,2
13	MST-1AT2-C2H4*Pr	2,6			
14	MST-1AT2-C2H6*Pr	3,2			

Tab. č. 3: Měření proudů napětí a výkonů na VN a VVN straně transformátorových jednotek 1AT1, 2, 3

Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (kV _{ef})	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (kV _{ef})
2	MST-1AT-VVN-UL1ef	239,9	12	MST-1AT-VN-UL1ef	13,9
3	MST-1AT-VVN-UL2ef	240,0	13	MST-1AT-VN-UL2ef	13,8
4	MST-1AT-VVN-UL3ef	239,7	14	MST-1AT-VN-UL3ef	13,8
Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (kA _{ef})	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (kA _{ef})
5	MST-1AT-VVN-IL1ef	1,42	15	MST-1AT-VN-IL1ef	24,8
6	MST-1AT-VVN-IL2ef	1,42	16	MST-1AT-VN-IL2ef	24,8
7	MST-1AT-VVN-IL3ef	1,41	17	MST-1AT-VN-IL3ef	24,7
Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (Hz)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (Hz)
8	MST-1AT-f-VVN-UL1	49,99	18	MST-1AT-f-VN-UL1	49,99
Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (MW)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (MW)
9	MST-1AT-P-VVN	1006	19	MST-1AT-P-VN	1026
Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (MVA)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (MVA)
10	MST-1AT-S-VVN	1018	20	MST-1AT-S-VN	1027
Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (MVA _r)	Krok	Měřený parametr/signál	Hodnota (MVA _r)
11	MST-1AT-Q-VVN	-154	21	MST-1AT-Q-VN	-45

Příloha P

Měření oteplení vyvedení výkonu bloku na výkonové hladině 100 % původního výkonu ze dne 18.6.2013.

Tab. č. 1: Měřené parametry a kontrolované vlastnosti

Teplota dilatační spojky pouzdra ZV			Teplota okolí			Oteplení (°C)
Krok	Měřený parametr	Hodnota (°C)	Krok	Měřený parametr	Hodnota (°C)	
1	Teplota dilatační spojky pouzdra ZV mezi rovinou 8' a 9 dle dispozice ZV výkres č.1EGV 18975a – fáze L1	45,7	1	Teplota okolí dilatační spojky pouzdra ZV cca 2 m od spojky	36,6	9,1
2	Teplota dilatační spojky pouzdra ZV mezi rovinou 8' a 9 dle dispozice ZV výkres č.1EGV 18975a – fáze L2	43,8	2	Teplota okolí dilatační spojky pouzdra ZV cca 2 m od spojky	36,5	7,6
3	Teplota dilatační spojky pouzdra ZV mezi rovinou 8' a 9 dle dispozice ZV výkres č.1EGV 18975a – fáze L3	49,8	4	Teplota okolí dilatační spojky pouzdra ZV cca 2 m od spojky	36,5	13,3
4	Teplota dilatační spojky pouzdra ZV v rovině h' dle dispozice ZV výkres č.1EGV 18975a – fáze L1	48,8	4	Teplota okolí dilatační spojky pouzdra ZV cca 2 m od spojky	36,1	12,7
5	Teplota dilatační spojky pouzdra ZV v rovině h' dle dispozice ZV výkres č.1EGV 18975a – fáze L2	54,7	5	Teplota okolí dilatační spojky pouzdra ZV cca 2 m od spojky	36,6	17,6
6	Teplota dilatační spojky pouzdra ZV v rovině h' dle dispozice ZV výkres č.1EGV 18975a – fáze L3	52,3	6	Teplota okolí dilatační spojky pouzdra ZV cca 2 m od spojky	36,8	18,1
7	Teplota dilatační spojky pouzdra ZV v rovině e' dle dispozice ZV výkres č.1EGV 18975a – fáze L1	41,6	7	Teplota okolí dilatační spojky pouzdra ZV cca 2 m od spojky	36,1	5,5
8	Teplota dilatační spojky pouzdra ZV v rovině e' dle dispozice ZV výkres č.1EGV 18975a – fáze L2	40,3	8	Teplota okolí dilatační spojky pouzdra ZV cca 2 m od spojky	36,2	4,1

Teplota dilatační spojky pouzdra ZV			Teplota okolí			Oteplení (°C)
Krok	Měřený parametr	Hodnota (°C)	Krok	Měřený parametr	Hodnota (°C)	
9	Teplota dilatační spojky pouzdra ZV v rovině e' dle dispozice ZV výkres č.1EGV 18975a – fáze L3	44,4	9	Teplota okolí dilatační spojky pouzdra ZV cca 2 m od spojky	35,9	8,5
10	Teplota dilatační spojky pouzdra ZV v rovině D dle dispozice ZV výkres č.1EGV 18975a – fáze L1	37,0	10	Teplota okolí dilatační spojky pouzdra ZV cca 2 m od spojky	35,0	2,0
11	Teplota dilatační spojky pouzdra ZV v rovině D dle dispozice ZV výkres č.1EGV 18975a – fáze L2	41,8	11	Teplota okolí dilatační spojky pouzdra ZV cca 2 m od spojky	35,4	6,4
12	Teplota dilatační spojky pouzdra ZV v rovině D dle dispozice ZV výkres č.1EGV 18975a – fáze L3	41,9	12	Teplota okolí dilatační spojky pouzdra ZV cca 2 m od spojky	35,2	6,7
			13	Teplota okolního vzduchu na sání kroužkostroje generátoru	38,4	–
14	*Teplota proudovodiče generátorového vypínače fáze L1	40,6	14	Teplota okolí cca 2 m od GV	36,6	4,0
15	*Teplota proudovodiče generátorového vypínače fáze L2	42,2	15	Teplota okolí cca 2 m od GV	37,5	4,7
16	*Teplota proudovodiče generátorového vypínače fáze L3	40,2	16	Teplota okolí cca 2 m od GV	36,8	3,4
Teplota šroubovaných spojů pásnic v oblasti přepólování budícího napětí generátoru a průchodek pásovin buzení včetně průchodky přívodu napětí do budiče generátoru (Ustř.) v podlaže v místnosti GV						
17	Teplota šroub. spoje pásovin bud. napětí generátoru (pól +)	*L-86,4	17	Teplota vzduchu cca 2 m od pásnic budícího napětí	43,5	42,9
		*P-82,0				38,5
	Teplota průchodky pásovin buzení (pól +)	*L-47,6				4,1
		*P-48,0				4,5

Teplota dilatační spojky pouzdra ZV			Teplota okolí			Oteplení (°C)
Krok	Měřený parametr	Hodnota (°C)	Krok	Měřený parametr	Hodnota (°C)	
	Teplota průchodky pásoviny buzení (Ustř.)	L1-71,5 L2-60,6 L3-64,5			41,2	L1-30,3 L2-19,4 L3-23,3
18	Teplota šroub. spoje pásoviny bud. napětí generátoru (pól –)	*L-78,6 *P-82,3	18	Teplota vzduchu cca 2 m od pásnic budicího napětí	43,5	*L-35,1 *P-38,8
	Teplota průchodky pásoviny buzení (pól –)	*L-49,7 *P-53,4				*L-6,2 *P-9,9
	Teplota pásoviny buzení (Ustř.)	L1-62,5 L2-74,6 L3-64,9			41,2	L1-21,3 L2-33,4 L3-23,7
Teplota nulové spojky generátoru						
19	Teplota ZV nulové spojky generátoru	L1-62,6 L2-84,1 L3-61,1 N-62,5	19	Teplota okolí cca 2 m od nulové spojky generátoru	41,5	L1-21,1 L2-42,,6 L3-19,6 N-21,0
20	Teplota ZV pod generátorem (fáze L1)	92,1	20	Teplota ZV pod generátorem (fáze L1)	41,5	45,6
21	Teplota ZV pod generátorem (fáze L2)	**150,2	21	Teplota ZV pod generátorem (fáze L2)		103,7
22	Teplota ZV pod generátorem (fáze L3)	95,9	22	Teplota ZV pod generátorem (fáze L3)		49,
* – byla změřena pouze povrchová teplota pláště generátorového vypínače						
*L – levá pásovina						
*P- pravá pásovina						
**Změřená teplota je průměrná a v některých místech byla tato hodnota ještě překročena.						

Příloha Q

Úpravy kompenzačních desek zapouzdřených vodičů na HVB I.

